

MATERIALLÆRE STÅL FOR BACHELOR INGENIØR BYGG

FORELESER



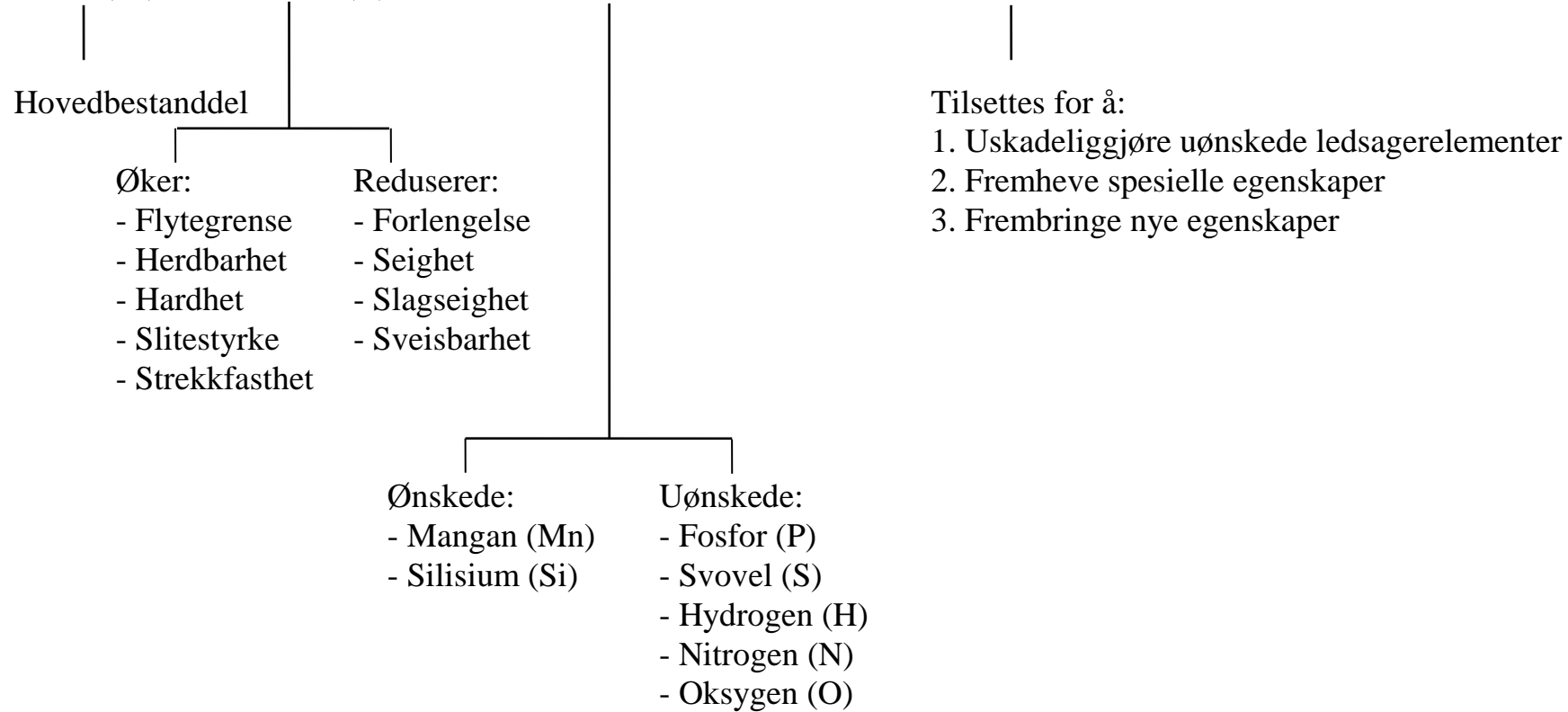
HENNING JOHANSEN

materialteknologi.hig.no

HVA ER STÅL?

STÅL=

JERN (Fe) + KARBON (C) + LEDSAGERELEMENTER + LEGERINGSELEMENTER



METALLER OG LEGERINGER, 2 GRUPPER

- I Fe - legeringer
- II Ikke - Fe - legeringer

I Fe - legeringer

1 Ulegerte stål, C - stål

- hovedbestanddel: Fe + C < 2%
- følgeelementer, små mengder:
 - P, S forurensninger
 - Mn, Si nyttige
 - Cu, Ni, Cr, Sn (maks. 0,1%) fra skrap

2 Legerte stål

- legeringselementer:
 - Mn, Cu, Ni, Cr - større mengder
 - Si, Al, Nb, Ti, V, Mo, B - små mengder

3 Verktøystål

- legeringselementer:
 - C = 0,3 - 2,3% (for herdbarhet)
 - Mn, Si, Ni, Cr, W, Mo, V, Co

4 Korrosjonsbestandige stål

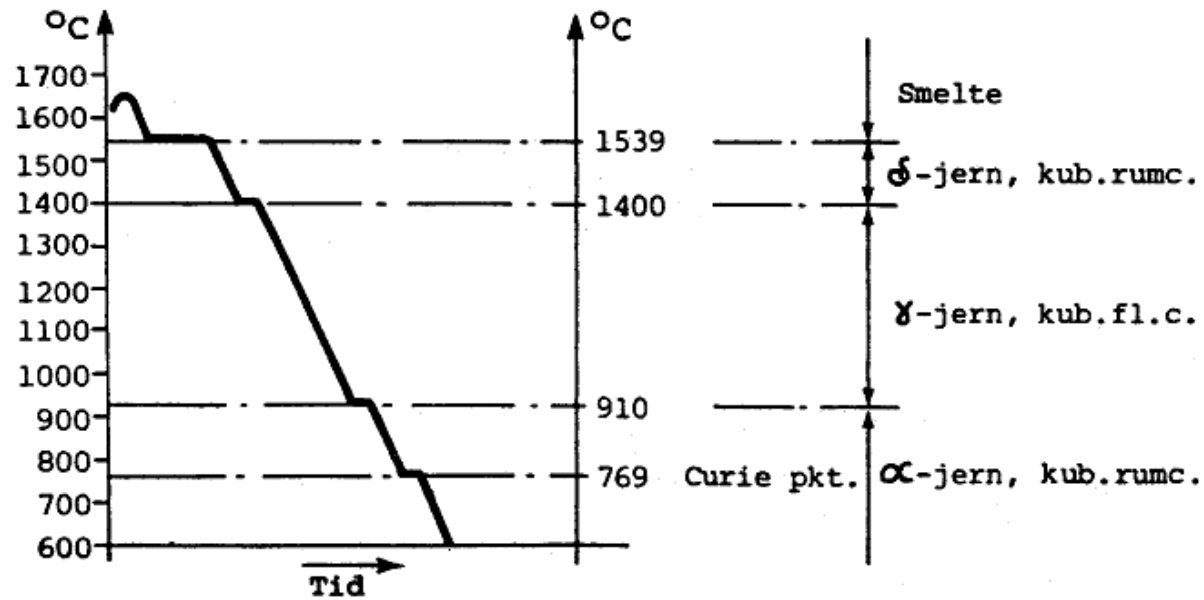
- legeringselementer:
 - Cr (> 12%), Ni, Mo - større mengder
 - Mn, Si, Mo, Al, Cu, Ti - mindre mengder

5 Støpejern

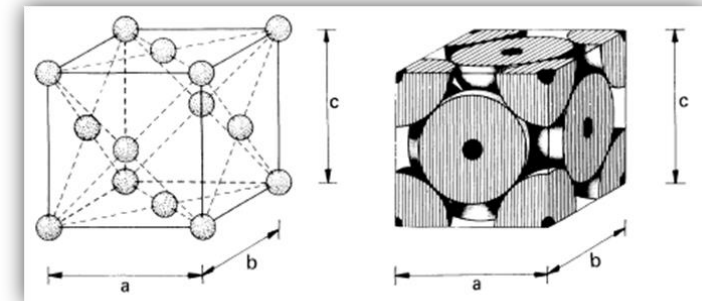
- hovedbestanddel Fe + C > 2%
- legeringselementer:
 - Si, Mn, Ni, Mo, Ti, V

EGENSKAPER stål

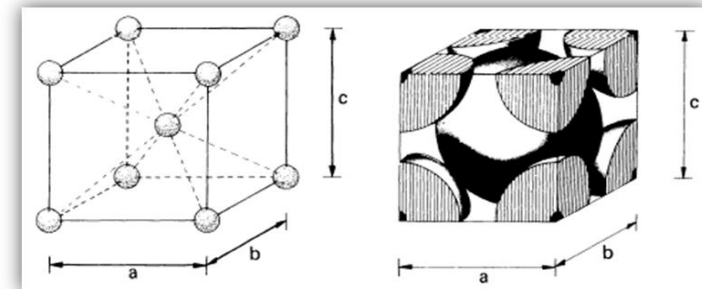
- Fe opptrer med 2 gitterstrukturer i fast tilstand:
 - kubisk romsentrert gitterstruktur, α , Ferritt
 - kubisk flatesentrert gitterstruktur, γ , Austenitt



Avkjølingskurve for 100% Fe.



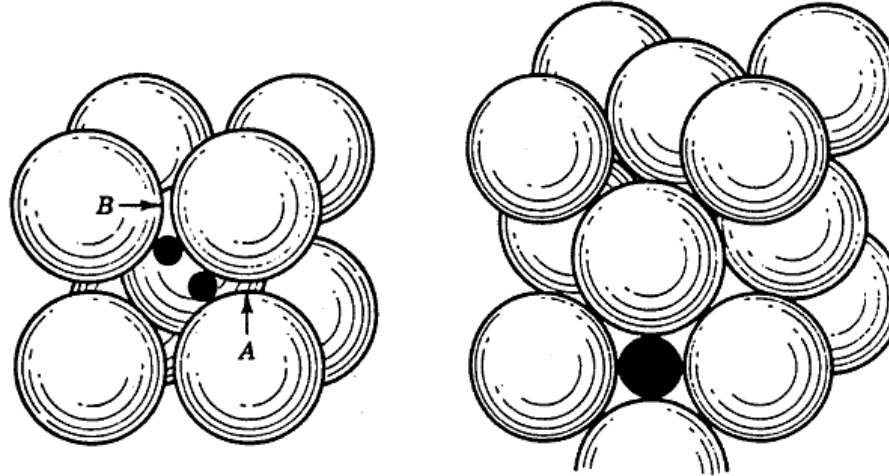
γ -jern



α -jern (og δ -jern)

EGENSKAPER (forts.)

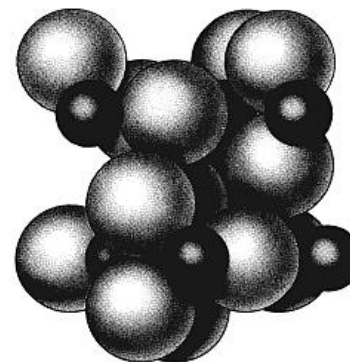
- C i går i mellomromsposisjon (addisjonsløsning) i Austenitt, γ , ikke (lite) i Ferritt, α



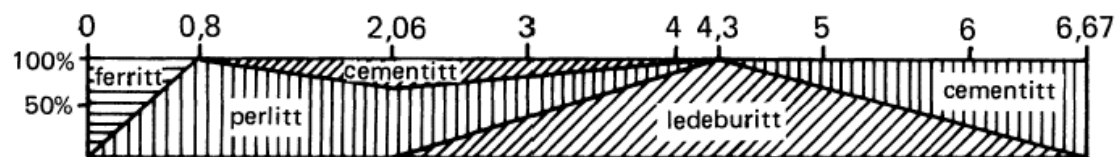
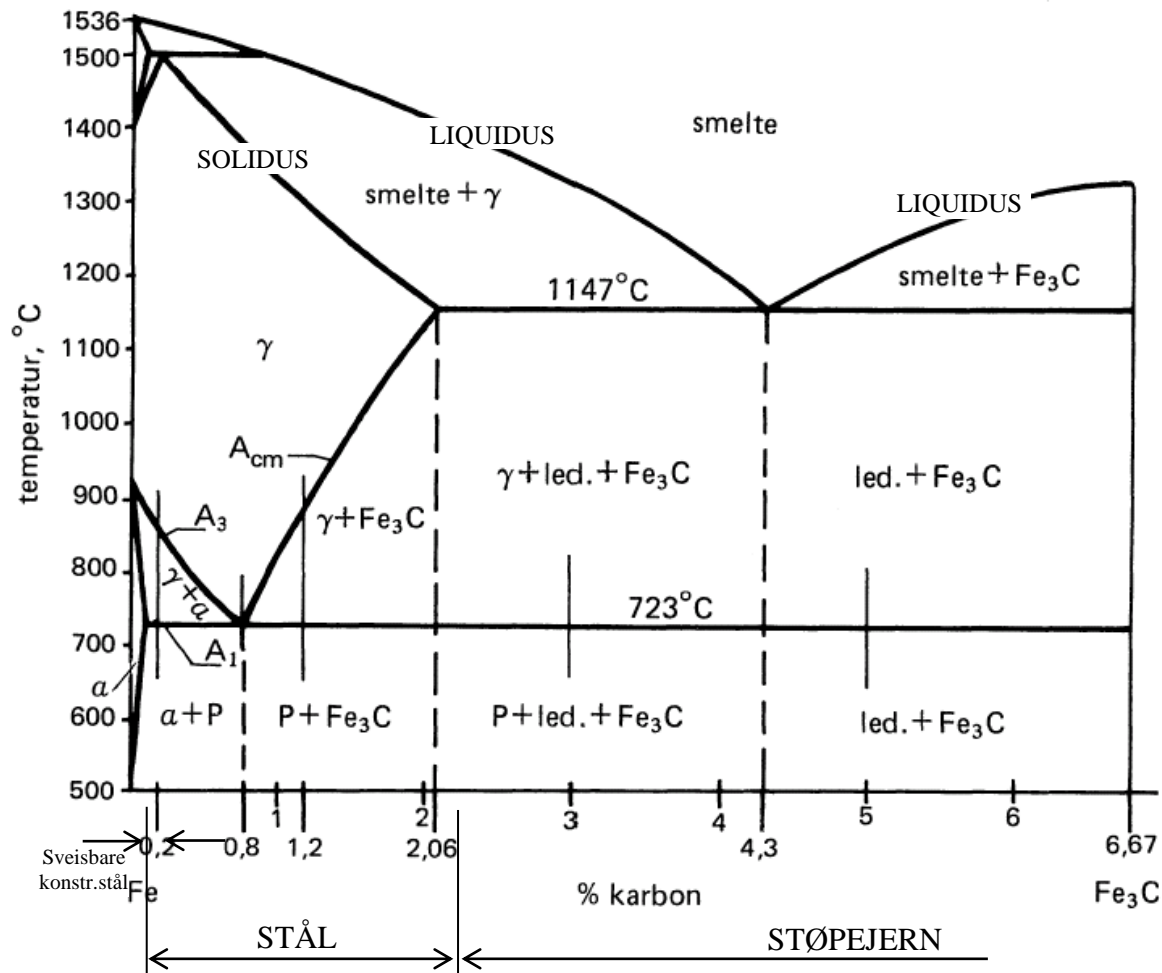
Mellomrom i kubisk romsentrert og kubisk flatesentrert struktur. I mellom-rommene er det plass til atomer med diameter på hhv. $0,72\text{\AA}$ og $1,04\text{\AA}$. $d_{\text{Carbon}} = 1,4\text{\AA}$ (10^{-10}m)

- Løseligheten av C i α er mye mindre enn i γ
- C kan opptre på 2 måter i legering med Fe:
 1. Grafitt i støpejern
 2. Jernkarbid, Fe_3C , Cementitt i stål

*Cementittstruktur i stål.
Enhetscellen inneholder 12 Fe-atomer og 4 C-atomer
(små kuler).*



Fe - C FASEDIAGRAM - gjelder for langsom avkjøling



δ kubisk romsentrert gitterstruktur

γ AUSTENITT

kubisk flatesentrert gitterstruktur, $C_{\text{maks}} = 2,06\%$

α FERRITT

kubisk romsentrert gitterstruktur, $C_{\text{maks}} = 0,02\%$

Fe_3C , CEMENTITT, Jernkarbid

ortorombisk, $C = 6,67\%$

P PERLITT

mekanisk finfordelt blanding av FERRITT og CEMENTITT

LED LEDEBURITT

mekanisk finfordelt blanding av AUSTENITT og CEMENTITT

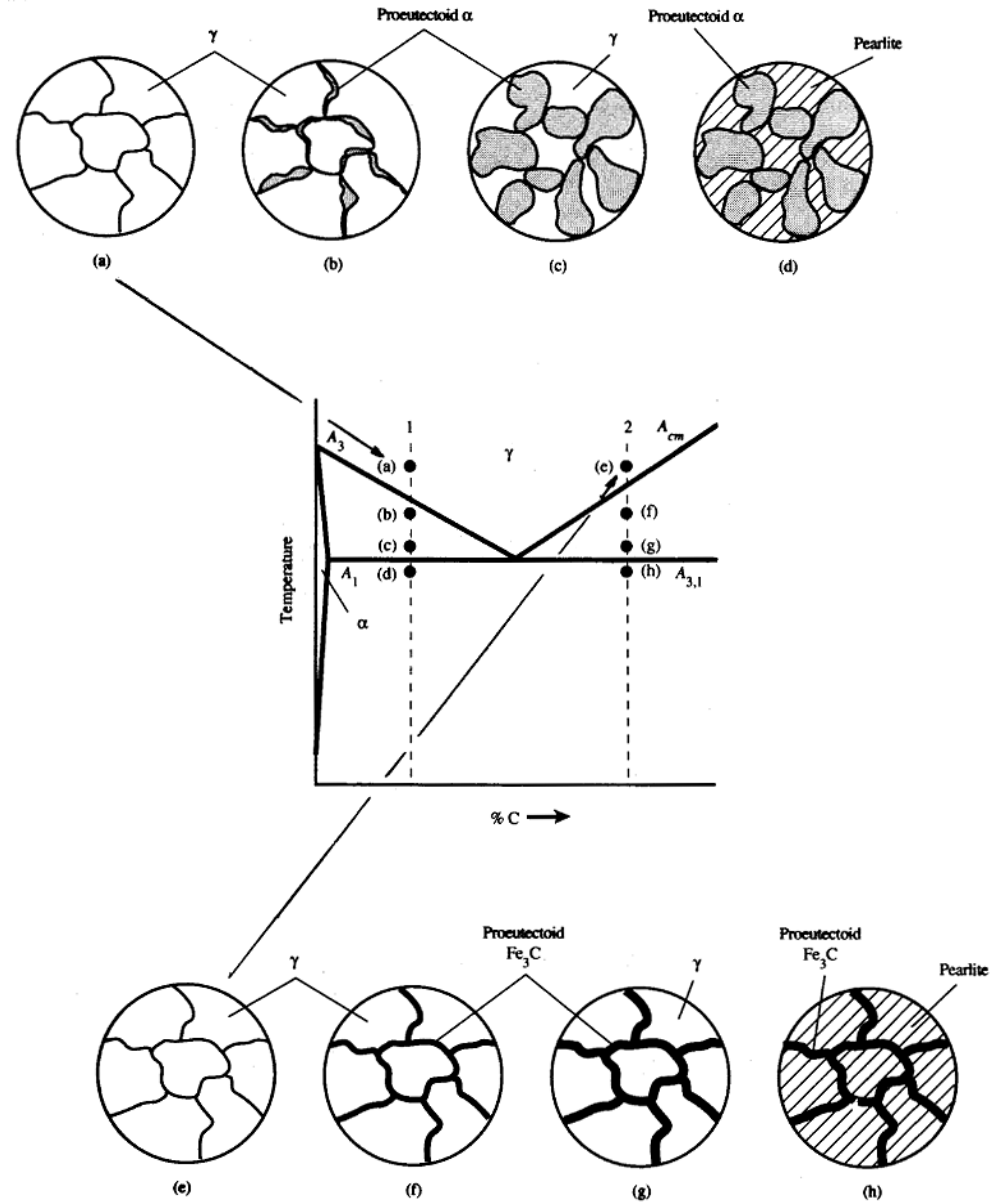
EUTEKTIKUM $C=4,3\%$

$C < 4,3\%$ Undereutektisk $C > 4,3\%$ Overeutektisk

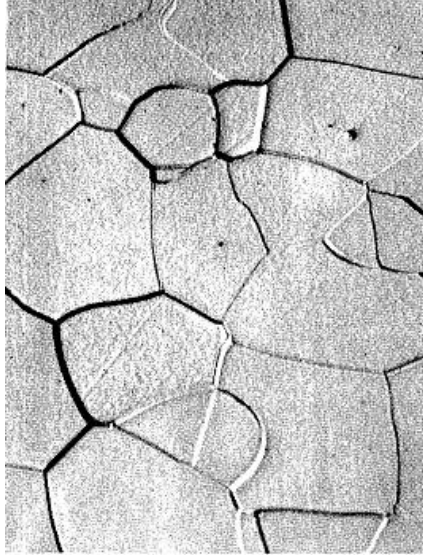
EUTEKTOID $C=0,8\%$

$C < 0,8\%$ Undereutektoid $C > 0,8\%$ Overeutektoid

Langsom avkjøling av et stål med $C < 0,8\%$ og et med $C > 0,8\%$:



Ferritt - perlitt og cementitt - perlitt **strukturer** ved ulike innhold av C:



(a) 0% C



(b) 0,20% C



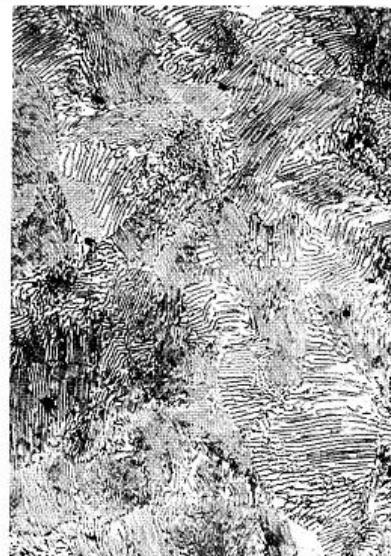
(c) 0,35% C



(d) 0,5% C



(e) 0,7% C



(f) 0,9% C



(g) 1,2% C

korngrænse-cementitt, hard og sprø → UØNSKET

NS-EN 10025, STANDARD FOR KONSTRUKSJONSSTÅL OG MASKINSTÅL

Stål kategori	Anvendelse	(Anvendelse)
7.2 a) (1)	S Konstruksjonsstål	(Structural steel)
7.2 a) (2)	P Stål for trykkformål	(Steel for Pressure purposes)
7.2 a) (3)	L Stål for rørledninger	(Steel for Linepipes)
7.2 a) (4)	E Maskinstål	(Engineering steels)

<u>10025 Okt 93</u>	<u>10025 Okt 90</u>	<u>Erstatter</u>	<u>Betegnelse</u>
S185	Fe 310-0		
S235JR	Fe 360 B	NS 12 120	St 37-2
S235JRG1	Fe 360 BFU	NS 12 122	USt 37-2
S235JRG2	Fe 360 BFN	NS 12 123	RSt 37-2
S235JO	Fe 360 C	NS 12 124-00	St 37-3U
S235J2G3	Fe 360 D1	NS 12 124-01	St 37-3N
S235J2G4	Fe 360 D2		
S275JR	Fe 430 B	NS 12 142	St 44-2
S275JO	Fe 430 C	NS 12 143-00	St 44-3U
S275J2G3	Fe 430 D1	NS 12 143-01	St 44-3N
S275J2G4	Fe 430 D2		
S355JR	Fe 510 B		
S355JO	Fe 510 C	NS 12 153-00	St 52-3U
S355J2G3	Fe 510 D1	NS 12 153-01	St 52-3N
S355J2G4	Fe 510 D2		
S355K2G3	Fe 510 DD1		
S355K2G4	Fe 510 DD2		
E295	Fe 490-2	NS 13 234	St 50-2
E335	Fe 590-2	NS 13 244	St 60-2
E360	Fe 690-2	NS 13 254	St 70-2

Tilleggsymbolene for de forskjellige tettingsgradene er som følger:

<u>Gml. betegnelse</u>	<u>Ny betegnelse</u>	<u>Forklaring</u>
U	G1	Utettet
R	G2	Ikke utettet
RR	-	Tettet stål med tilstrekkelige tilsetninger av nitrogenbindene elementer til å binde alt fritt nitrogen. F.eks. 0,02% Al.

<u>GML. KVALITET</u>	<u>NY KVALITET</u>	<u>KRAV TIL SLAGSEIGH.</u>
St50/60/70-2	E stål	Ingen krav
	S185	Ingen krav
Kvalitet 2	Kvalitet JR	min. 27J ved +20 C
Kvalitet 3U	Kvalitet JO	min. 27J ved 0 C
Kvalitet 3N	Kvalitet J2	min. 27J ved -20 C
	Kvalitet K2	min. 40J ved -20 C

<u>GML. KVAL.</u>	<u>NY KVALITET</u>	<u>KRAV TIL FORURENSN. NIVÅ</u>
	S185	Ingen krav
kvalitet 2	Kvalitet JR +E-stål	P og S < 0,045%
Kvalitet 3U	Kvalitet JO	P og S < 0,040%
Kvalitet 3N	Kvalitet J2	P og S < 0,035%
	Kvalitet K2	P og S < 0,035%

VANLIGE VARMEBEHANDLINGS METODER FOR STÅL

1. SPENNINGS- og REKRYSTALLISASJONSGLØDING

(Process Anneal)

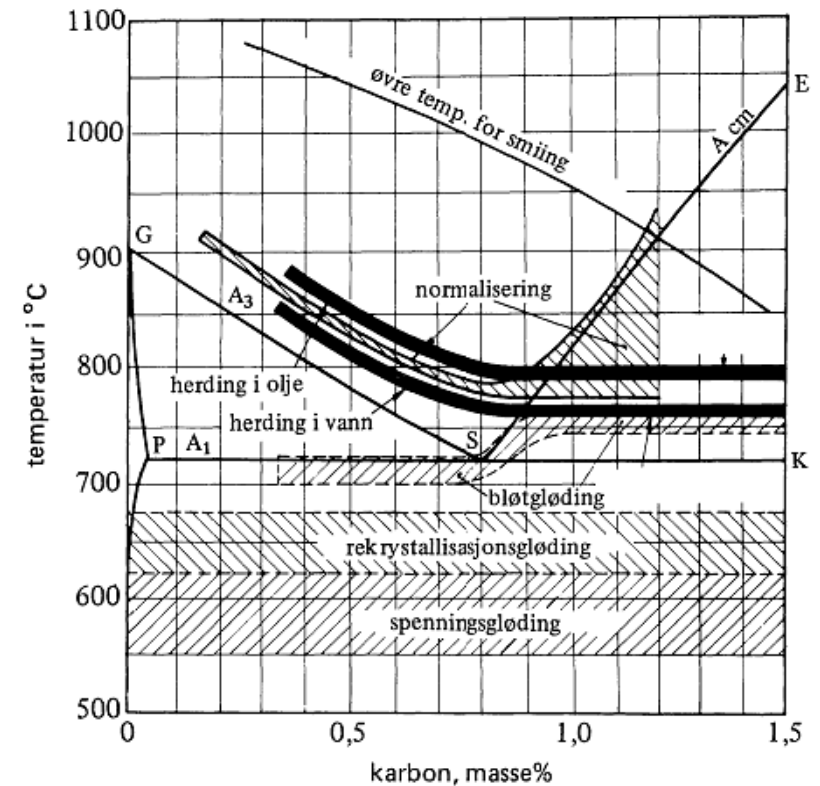
- ferritt i stål med $C < 0,25\%$ C styrkes ved kalddeformering
- gløding opphever virkningen

2. NORMALISERING og GLØDING (Normalize, Annealing)

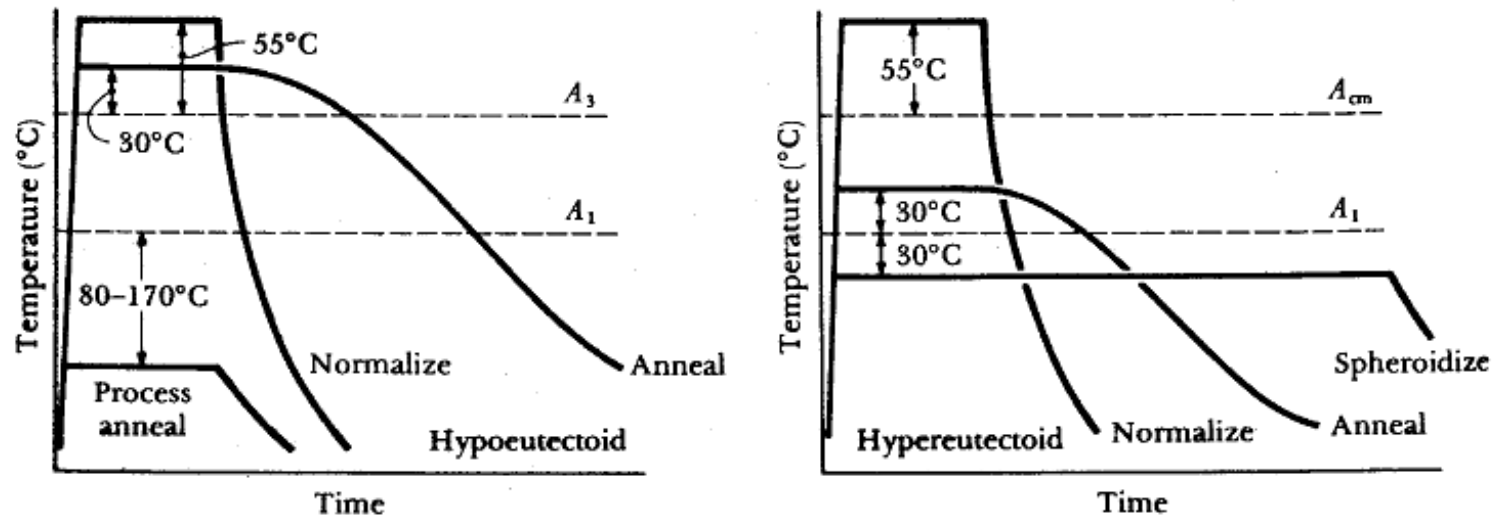
- Avkjøling austenitt \rightarrow perlitt:
 - a) Langsom (luft) \rightarrow fin perlitt \rightarrow god styrke - NORMALISERING
 - b) Veldig langsom (i ovn) \rightarrow grov perlitt \rightarrow lav styrke, god duktilitet - GLØDING

3. BLØTGLØDING, SFÆRODISERING (Spherodize)

- høyt C - innhold gir mye Fe_3C \rightarrow dårlig maskinerbarhet
- lang glødetid (2 - 20h) gir Fe_3C som kuler i ferritt
- prosessen benyttes også for herdet stål



Anbefalte varmebehandlingstemperaturer for ulegert stål, avhengig av C-innhold.



undereutektoid

$C < 0,8\%$

Process Anneal = SPENNINGS- og REKRYSTALLISASJONSGLØDING
 Normalize = NORMALISERING
 Annealing = GLØDING
 Spheroidize = BLØTGLØDING, SFÆRODISERING

overeutektoid

$C > 0,8\%$

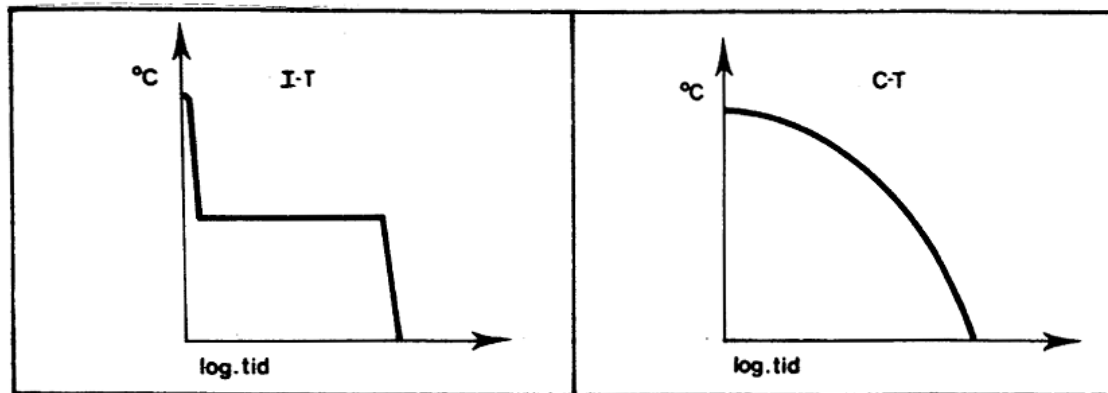
T - T - T DIAGRAMMER

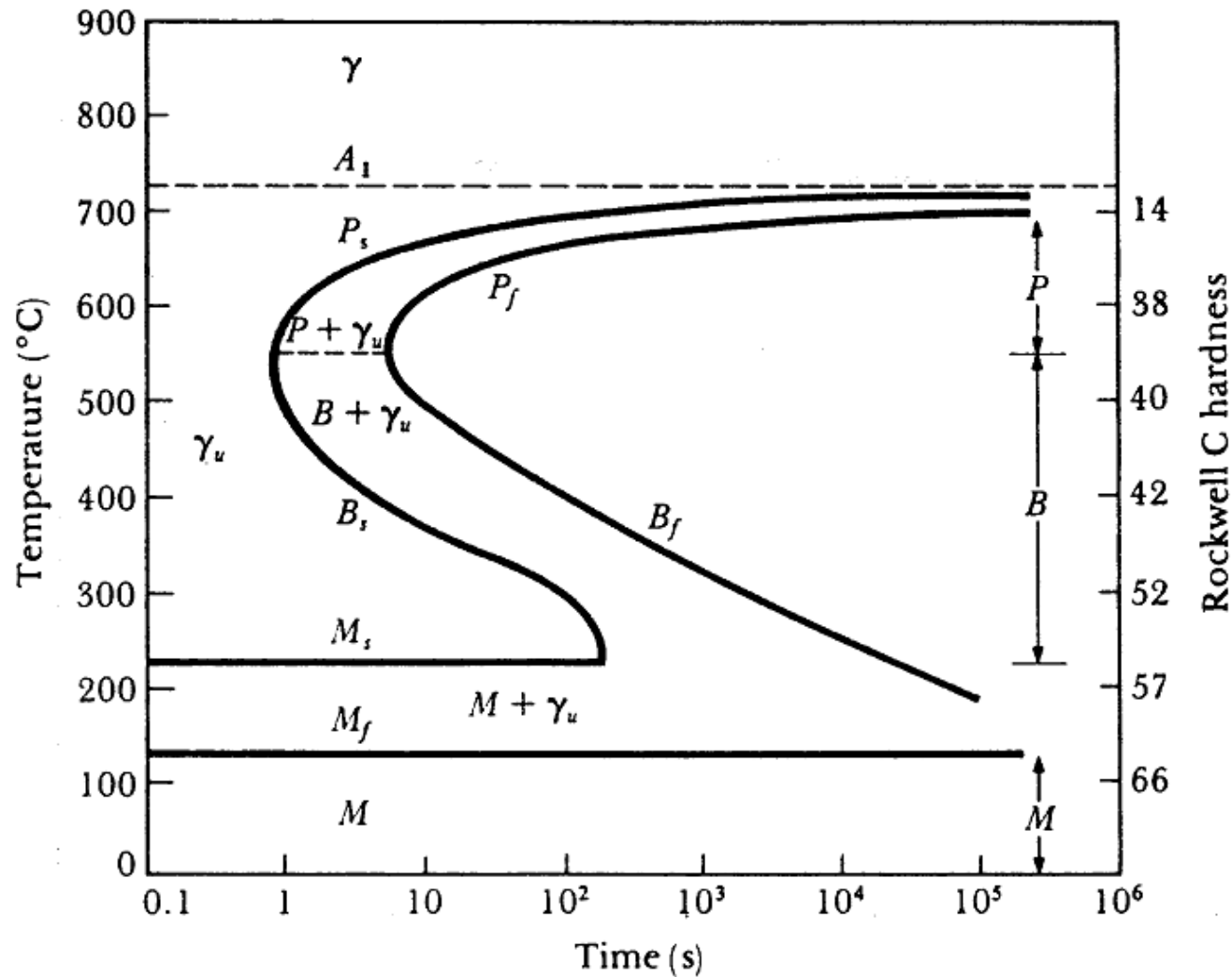
- Fe - C fasediagrammet gjelder for langsom avkjøling → LIKEVEKT STRUKTURER
- Vi utnytter at C er løselig i γ - jern og ikke i α - jern til fremstilling av andre strukturer med andre egenskaper → IKKE LIKEVEKTSTRUKTURER
- Først: **AUSTENITTISERING**
TEMP. : 30 - 50°C over A_3
GLØDETID : 5 - 25min. (høyeste verdi for levert stål p.g.a. langsom diffusjon av legeringselementer)
- Kartlegger austenittens omvandling ved avkjøling:

T_{id} - T_{emperatur} - T_{ransformasjon} DIAGRAMMER (Time - Temperature - Transformation)

2 typer: Isothermal - Transformation DIAGRAMMER - omdannelse av austenitt ved konstant temperatur

Continuous - Transformation DIAGRAMMER - omdannelse av austenitt ved kontinuerlig temperatur

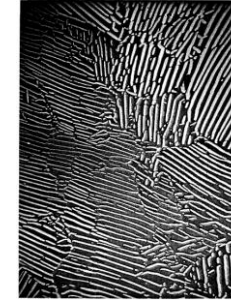




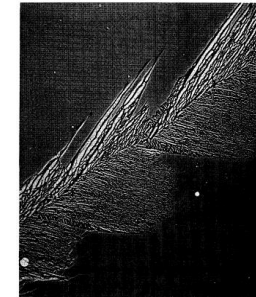
T-T-T-diagram for stål med C=0,8%C

γ - Austenitt (γ_u-uomdannet)

P_s - Perlitt start (1%) P_f - ferdig (99%)



B - Bainitt, Hardere enn Perlitt

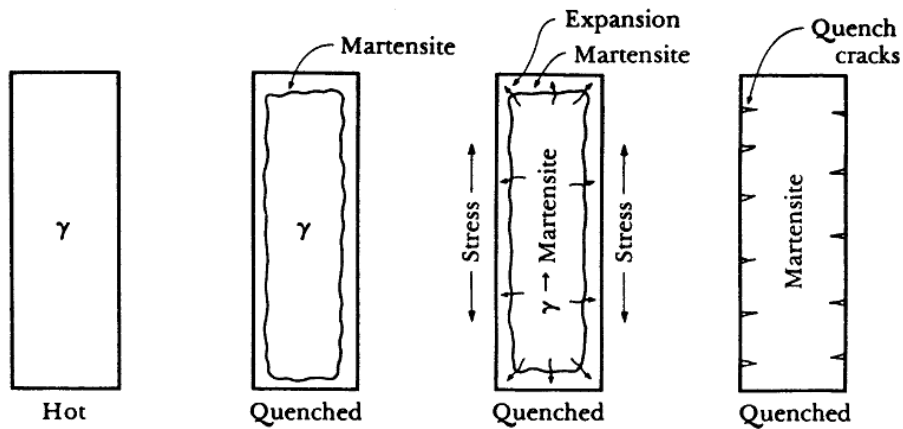


M - Martensitt, Hardere enn Bainitt
Hard og sprø, vanligvis uønsket



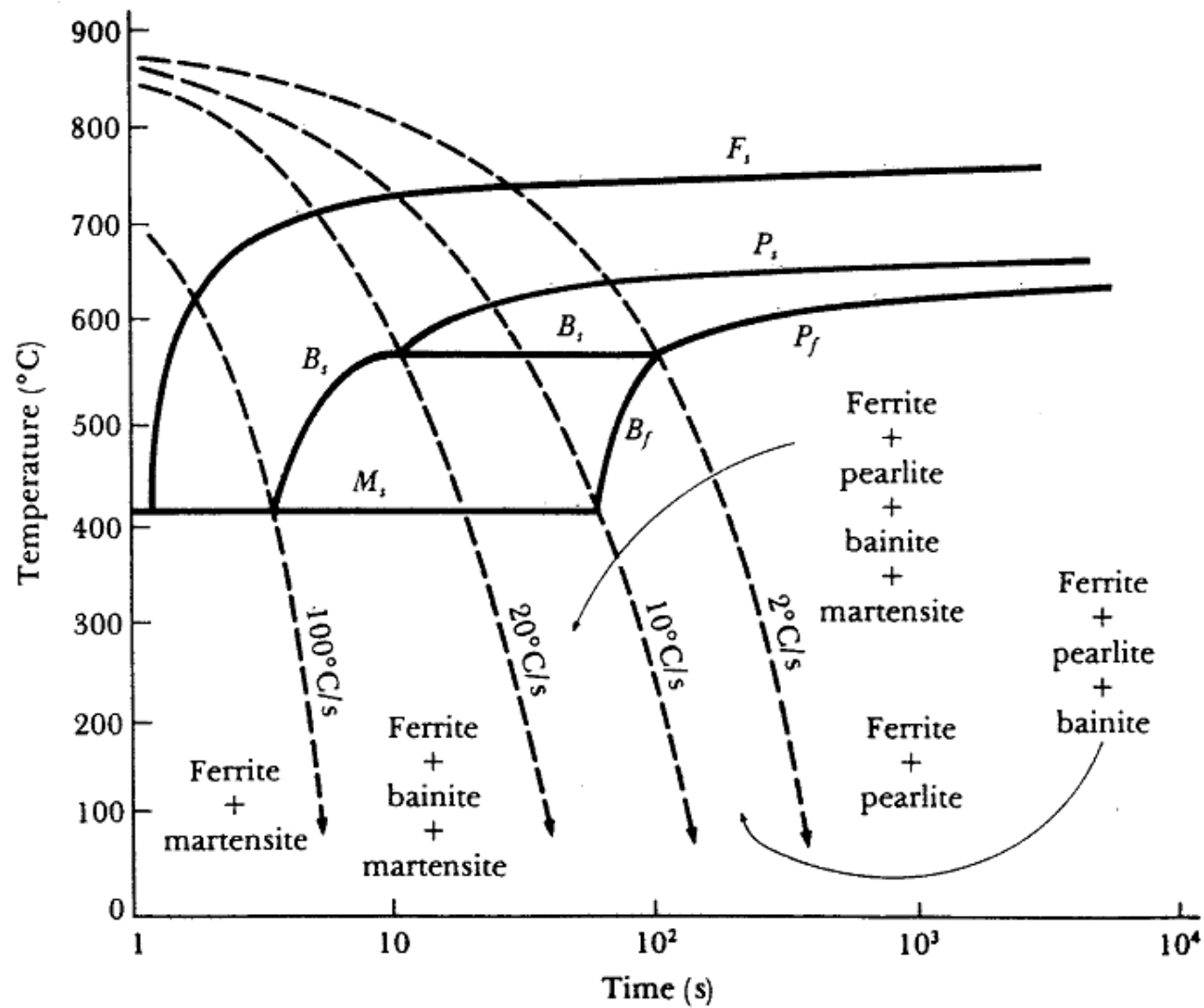
MARTENSITT

- hardheten til Martensitt er avh. av C-innholdet
- andelen av Martensitt er avh. av:
 - innholdet av legeringselementer utenom C
 - avkjølingshastigheten
- Volumøkning (ca. 4% ved C = 0,9%) gir **indre spenninger** etter herding → **forkastninger** og **herdesprekker** under avkjølingen



- **unngå skarpe hullkiler** → spenningskonsentrasjoner

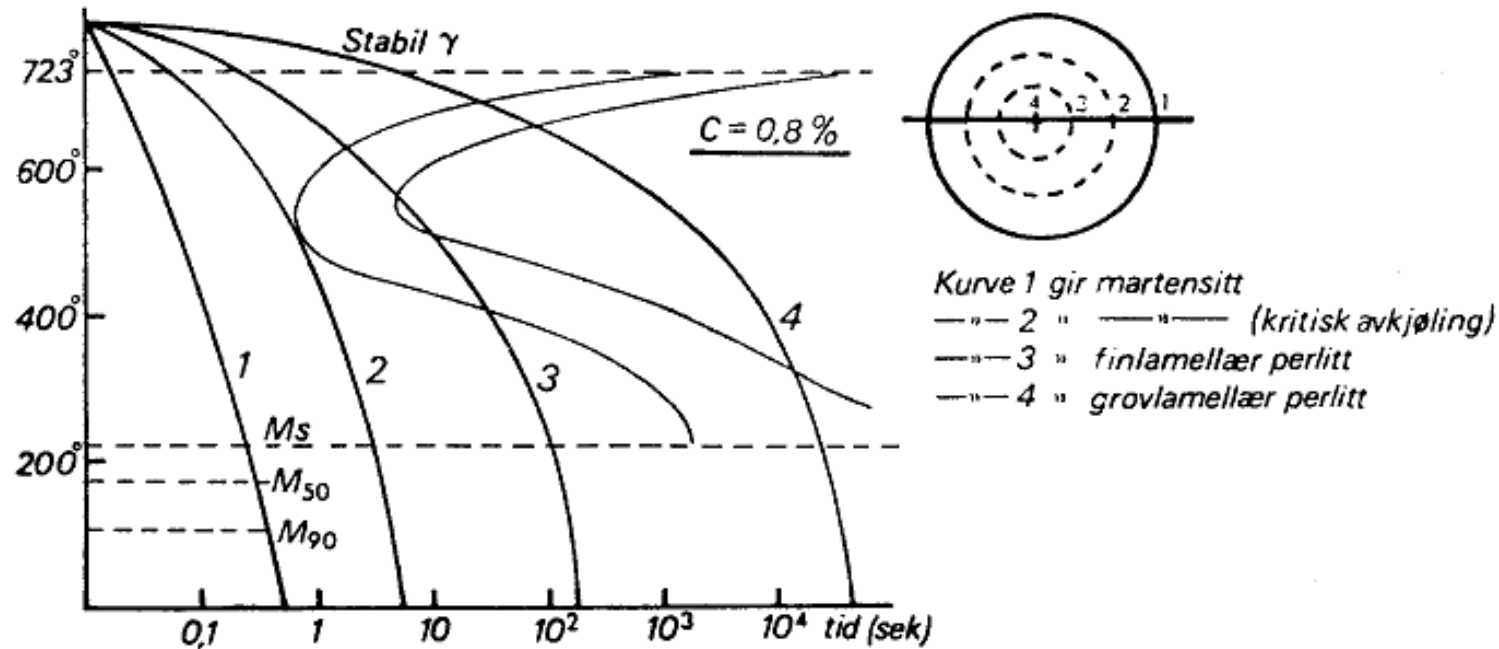
Avkjølingshastigheten bestemmer strukturen:



C - T diagram for stål med 0,2% C og 0,45% Mn

Kritisk avkjølingshastighet / herdbarhet

KRITISK AVKJØLINGSHASTIGHET: Laveste avkjølingshastighet ($^{\circ}\text{C/s}$) som gir 100% martensitt

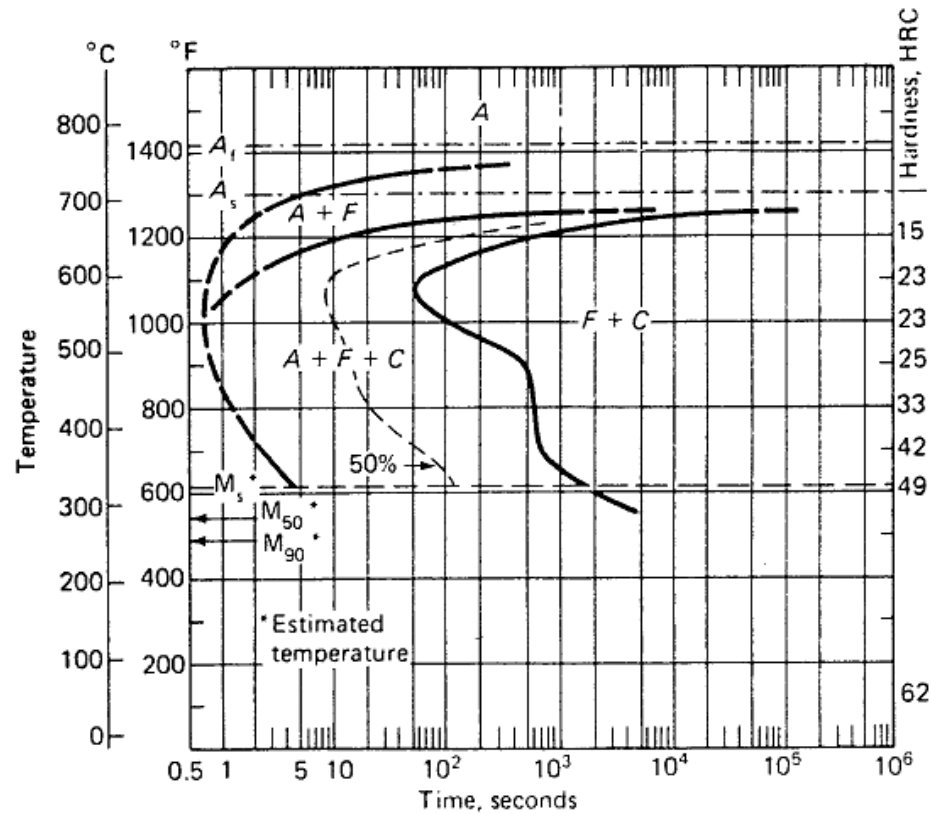


Kritisk avkjølingshastighet - kurve 2

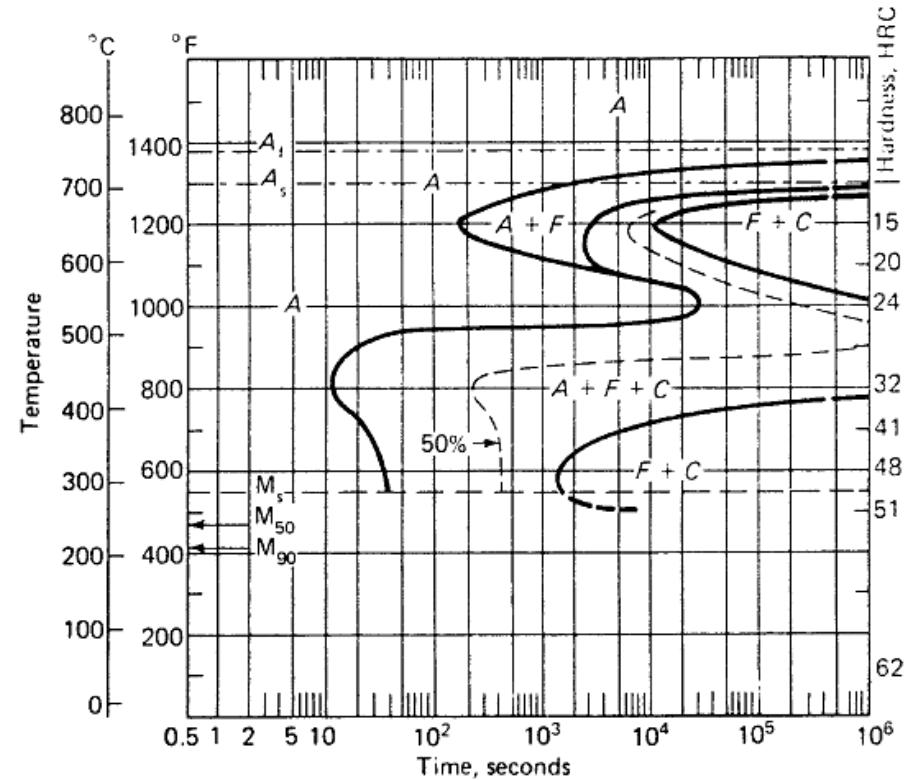
HERDBARHET: Bestemmes ved praktisk prøving.
 Måler tykkelsen av martensitt i en sylindrisk prøvestav
 Brukes ofte isteden for kritisk avkjølingshastighet

VIRKNINGEN AV LEGERINGSELEMENTER på T-T-T diagrammene

Eksempel. 2 stål med samme C-innhold, men forskjellig legeringsinnhold:



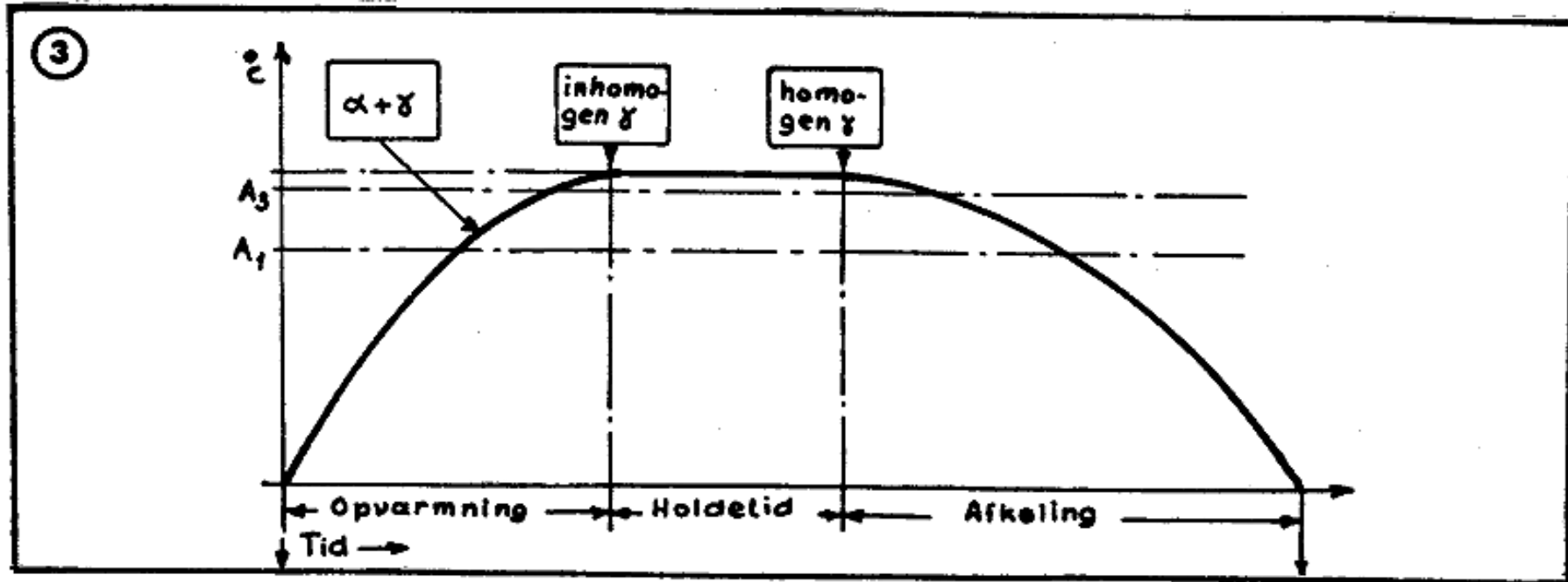
$C = 0,42\%$, $Mn = 1,58\%$



$C = 0,42\%$, $Mn = 0,78\%$, $Ni = 1,79\%$, $Cr = 0,80\%$,
 $Mo = 0,33\%$

NORMALISERING

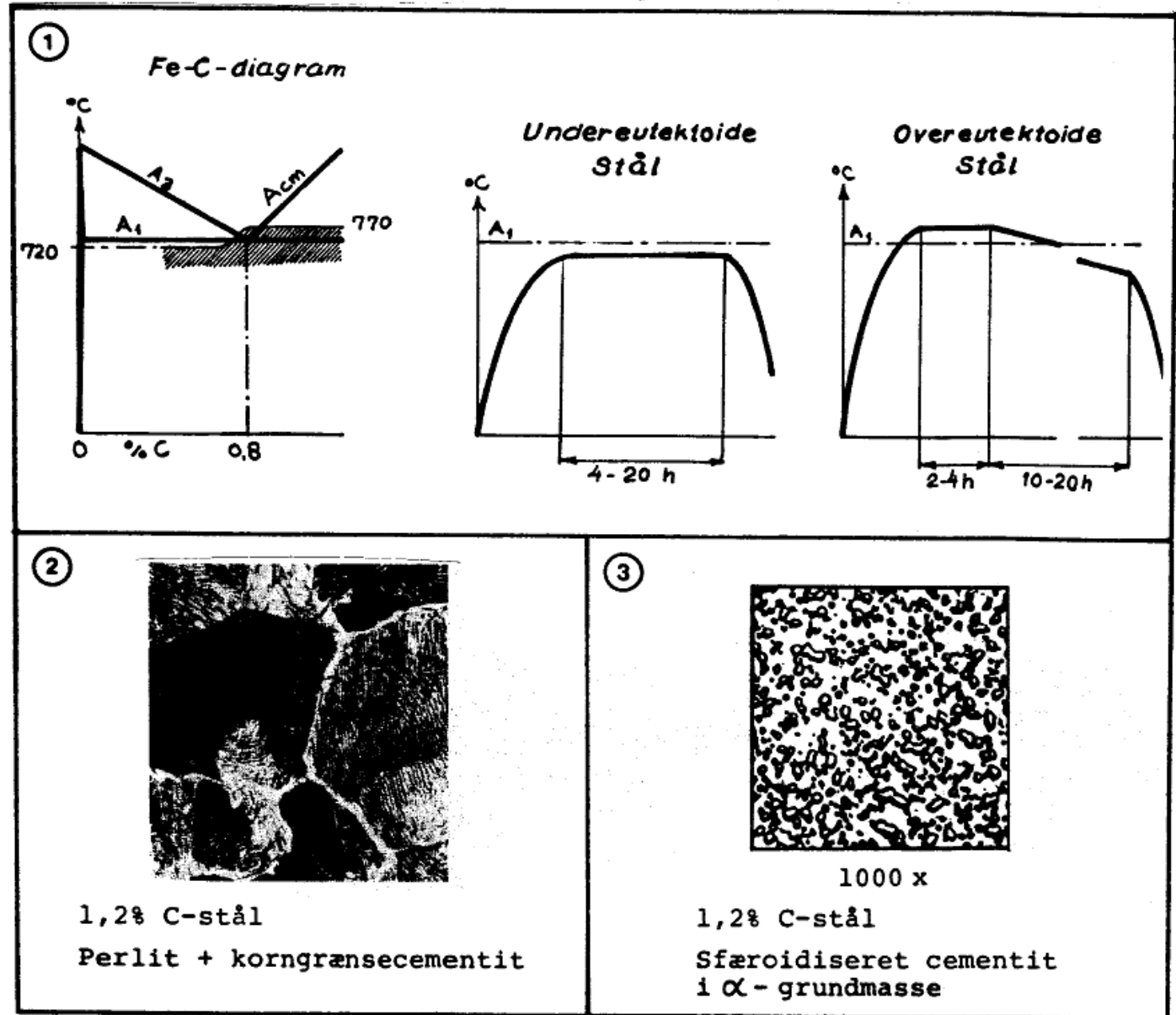
Ved normalisering får vi tilbake samme seige struktur som før herding.



- normaliseringstemperatur: 50 - 80 °C over A_3 (Austenitt)
- holdetid for utjevning av konsentrasjonsforskjeller i Austenitt, γ - strukturen
- rolig avkjøling i luft

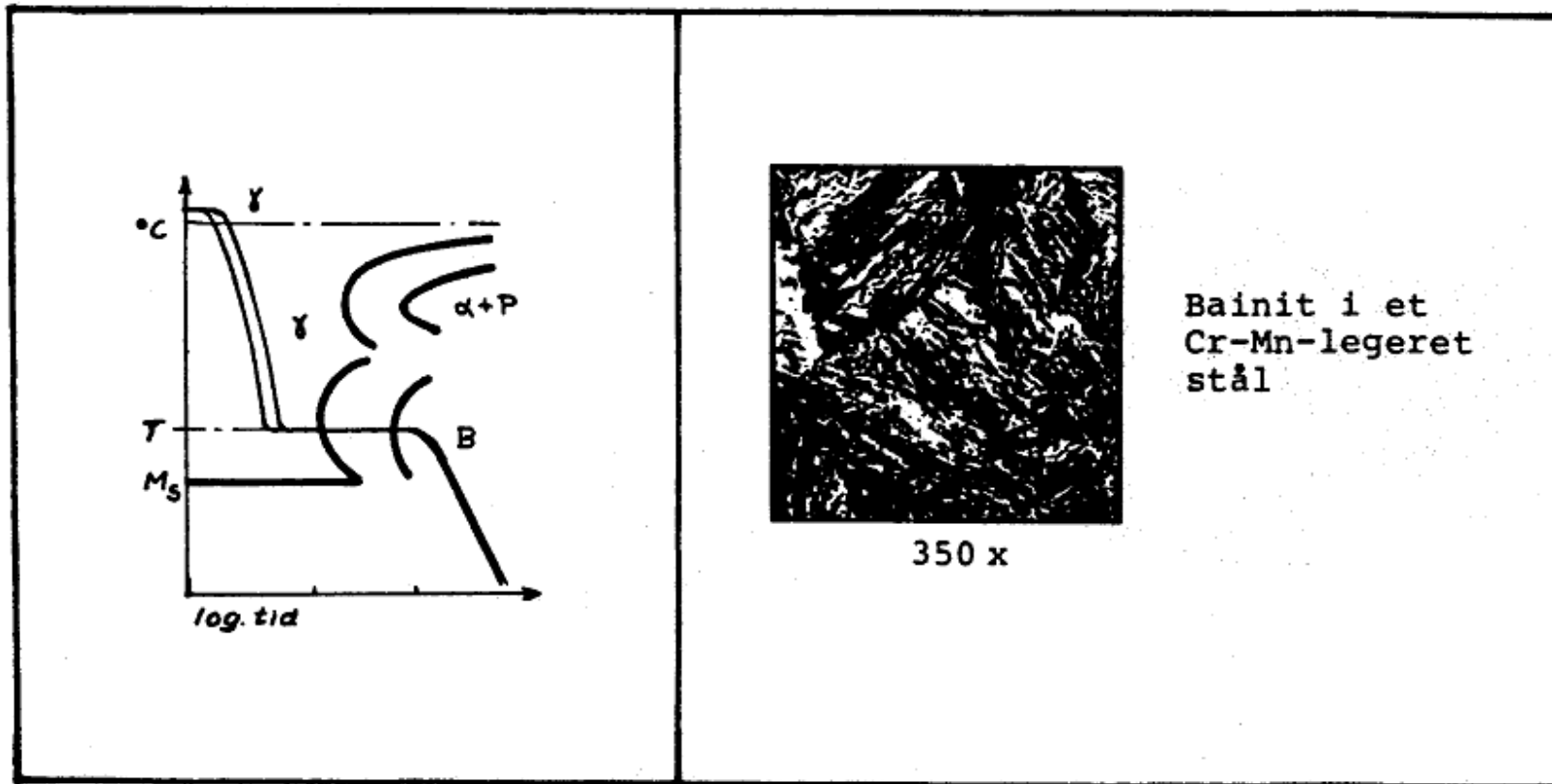
BLØTGLØDING, SFÆRODISERING

- Høyt C- og legerings-innhold i stål gir høyt cementitt- og karbid-innhold
- Cementitt og karbider er plateformede og harde
 - vanskelig å bearbeide ved kalddeformasjon og avsponing
- Ved bløtgløding danner cementitt og karbider kuler
 - R_e (Flytegrense) og HB (Hardhet) reduseres, A_5 (Bruddforlengelse) øker
 - lettere bearbeiding



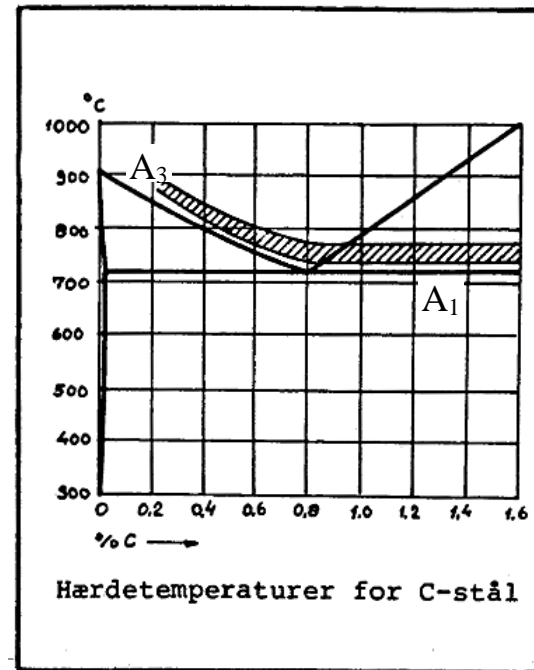
BAINITTING

- Benyttes for tynne emner
- Eksempel: Verktøy og maskindeler utsatt for slitasje og slag
- Prosess:
 - Austenittisering
 - Hurtig avkjøling i saltbad. Det må være liten forskjell mellom avkjølingskurvene overflate/kjerne.
 - Holdetid
 - Avkjøling i luft



MARTENSITHERDING

- Herdbarheten avh. av C- og legeringsinnhold
- Ulegerte stål med $C < 0,2\%$, ikke herdbare
- Prosess:
 - Austenittisering
 - Undereutektoide stål : 50 - 70°C over A_3
 - Overereutektoide stål : 50 - 70°C over A_1 (samme som bløtgløding)
 - Hurtig avkjøling



ANLØPING av MARTENSITT

- Martensitt er hard og sprø, og har indre spenninger (p.g.a. volumutvidelse) som kan føre til sprekkdannelse
→ liten anvendelse

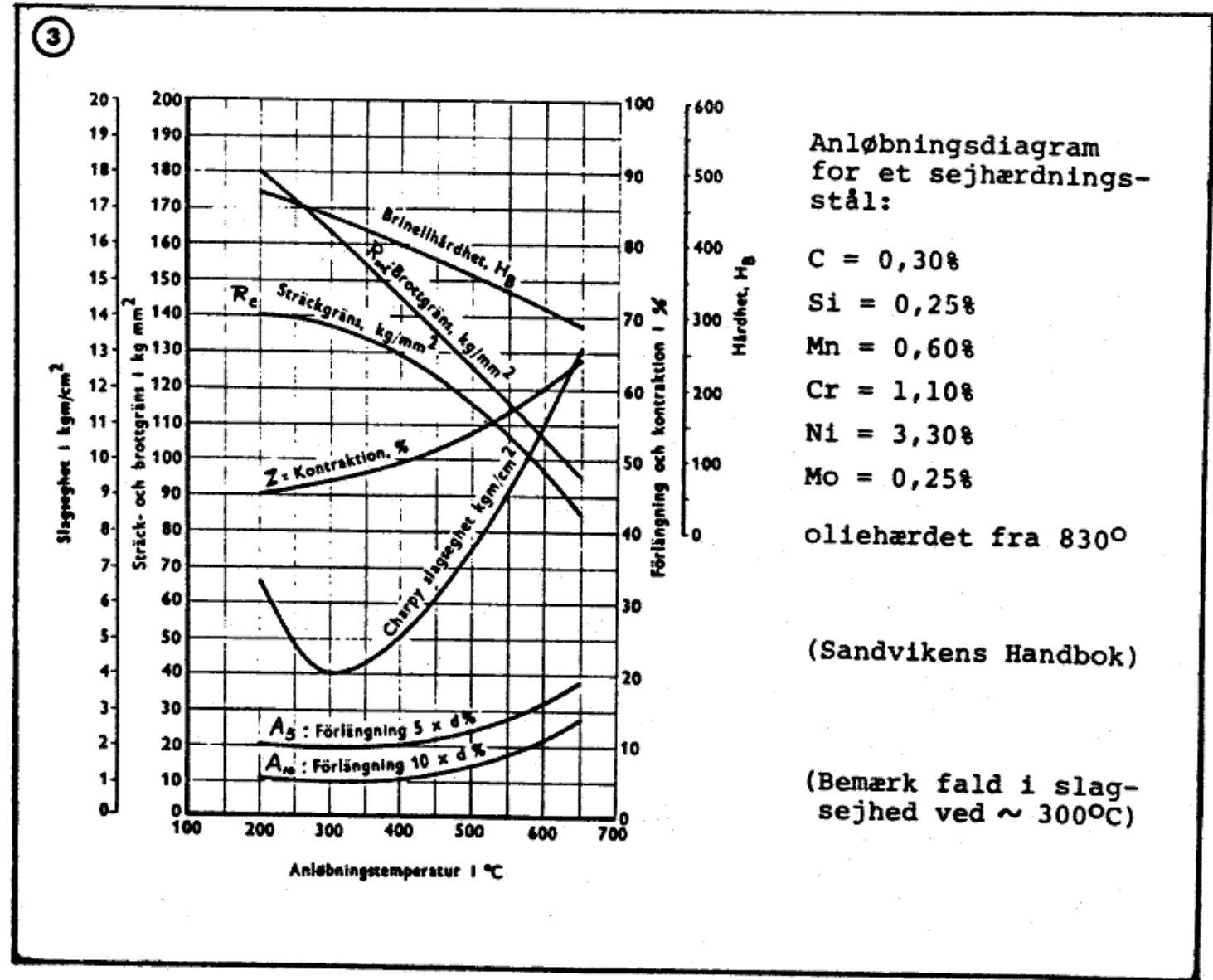
- Prosess:
- Oppvarming til 80 - 700°C
 - Ved diffusjon omdannes martensitt til nye faser
 - Hardheten faller med økende temperatur

SEIGHERDING

Martensittherding etterfulgt av anløping til høye temperaturer

- Gir bedre styrkeegenskaper enn i normalisert tilstand
- R_e (flytegrensen) blir høyere
- Forholdet R_e/R_m (flytegrense/bruddfasthet) blir større

Anløpingsdiagram (eksempel):



SVEISBARE KONSTRUKSJONSSTÅL

Ståltyper kan inndeles på mange måter:

I INNDELING ETTER BRUKSOMRÅDER:

- Konstruksjonsstål - største gruppe, mest brukt i sveiste konstruksjoner
- Verktøystål
- Fjærstål
- Varmefaste stål
- Rust- og syrebestandig stål
- osv.

II INNDELING ETTER SAMMENSETNING:

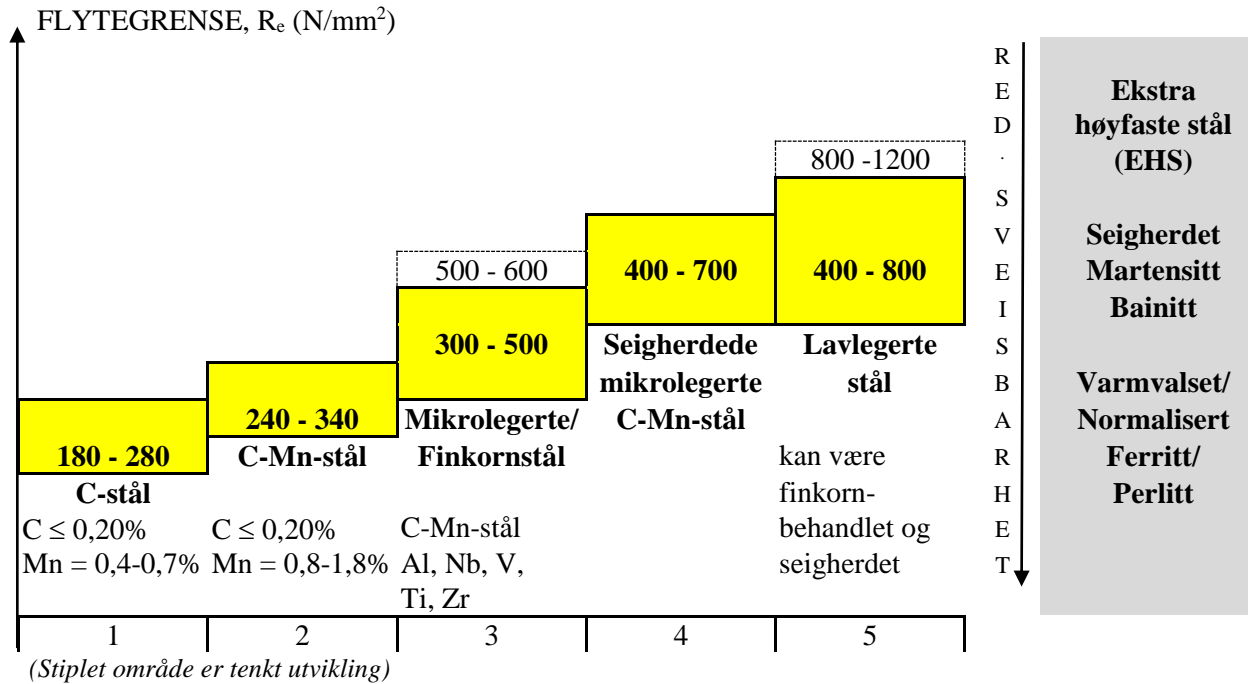
1. Ulegerte stål - Samlet innhold av legeringselementer utenom C, under 2%
2. Lavlegerte stål - Samlet innhold av legeringselementer 2 - 6%
3. Høylegerte stål - Samlet innhold av legeringselementer over ca. 6%

III SVEISBARE KONSTRUKSJONSSTÅL

Inndelt i hovedgrupper avhengig av sammensetning og fremstillingsmåte:

1. Karbon-stål (C-stål)
 2. Karbon-mangan-stål (C-Mn-stål)
 3. Mikrolegerte stål, finkornstål
 4. Seigherdede mikrolegerte stål
 5. Lavlegerte konstruksjonsstål
- } Høyfaste stål
6. Trykkjele stål
 7. Sveisbare kamstål
[PDF][Kamstål B500NC - Celsa Steel Service](#)
 8. Rust- og syrebestandig stål

Inndelingen av sveisbare konstruksjonsstålene i grupper og etter flytegrenseverdier



STÅLENES SVEISBARHET

At et materiale er **godt sveisbart**, vil si at det kan sveises med vanlige metoder og tilsett materialer på en enkel måte uten spesielle tiltak for å oppnå et tilfredsstillende resultat.

Sveisen skal være uten sveisefeil av betydning.

Både sveisemetallet og den varmepåvirkede sone av grunnmetallet skal ha egenskaper som er minst like gode som grunnmetallet.

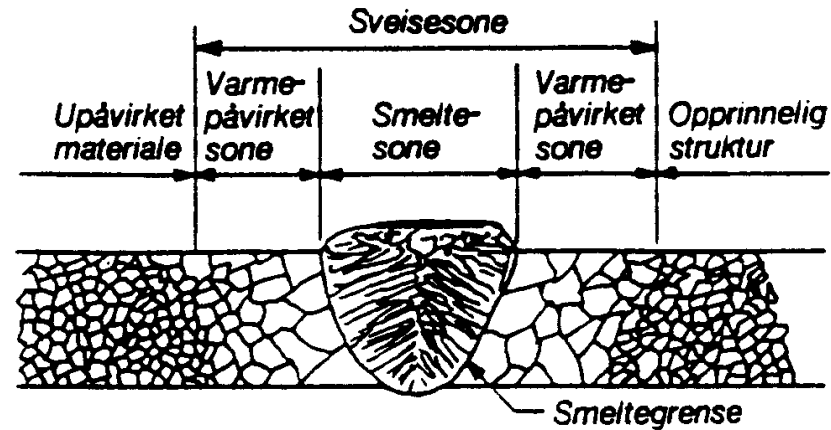
Ulike legeringselementer og forurensninger i stålet påvirker sveisbarheten på forskjellig måte.

Sveisbarhetsbegrepet for sveisbare konstruksjonsstål omfatter i hovedsak:

- 1 Strukturomvandling og indre spenninger
- 2 Varmsprekktendens og porer
- 3 Kaldsprekktendens, martensittdannelse
- 4 Hydrogensprøhet
- 5 Sprøbruddømfintlighet
- 6 Elding

1 Strukturomvandling og indre spenninger

STRUKTUROMVANDLING



Varmepåvirket sone i en-lags sveis i et rent metall (varmvalset eller glødd).

Det materialet som ligger nærmere enn 3 ganger godstykkelsen, kan normalt anses å bli utsatt for varmpåvirkning. Ved grove dimensjoner blir avstanden mindre, og ved tynne dimensjoner noe større.

I et sveisbart stål er disse strukturomvandlingene godartede, og fører ikke til alvorlige feil eller konsekvenser.

Normalt får vi en viss kornvekst like ved smeltegrensen, men materialet er fortsatt seigt.

INDRE SPENNINGER

Resultat av lokal oppvarming og avkjøling ved sveisingen, spesielt krympingen av sveisemetallet.

Spenninger overskrider flytegrensen.

Materialer med høyere fasthet får høyere indre spenninger.

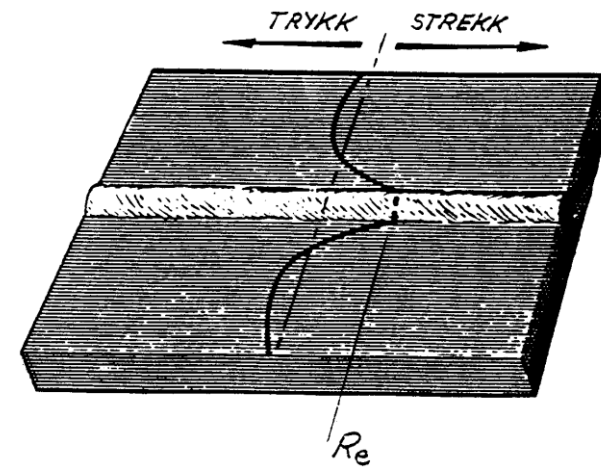
I innspente konstruksjoner opptrer tvangskrefter mellom ulike konstruksjonsdeler og i sveiser.

Tvangskreftene blir høyere i mere høfaste stål.

Høye sveisespenninger og tvangskrefter i mere høfaste stål fører til større vanskeligheter ved sveising.

Større krav til gjennomtenkt konstruktiv utforming og sveiserekkefølge.

Indre spenninger og tvangskrefter kan reduseres ved sveising med forhøyet arbeidstemperatur og langsom balansert avkjøling.



Indre spenninger i overflaten på en plate sveist med en streng.

2 Varmsprekktendens og porer

Sveisemetallet er en blanding av grunnmateriale og tilsettmateriale.

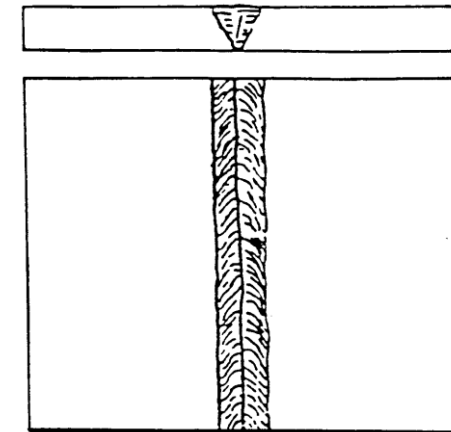
Når sveisemetallet størkner opptrer seigring.

Forurensninger, først og fremst S, nedsetter materialets fasthetsegenskaper.

Ved størkning oppstår spenninger p.g.a. krymping.

Krympespenningene vil kunne føre til at det oppstår sprekker.

Varmsprekker oppstår midt i sveisen, og ofte i en stor del av sveiselengden.



Varmsprekk i sveis.

3 Kaldsprekktensens, martensittdannelse

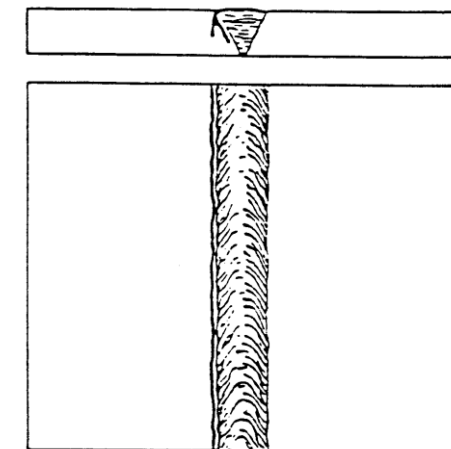
Kaldsprekker dannes i den varmepåvirkede sonen av grunnmaterialet.

Henger nøye sammen med stålets herdbarhet .

I stål med høyere innhold av C og Mn kan vi ved hurtig avkjøling få martensitt.

Oppstår en hard og sprø sone inntil sveisen med begrenset mulighet til å ta opp sveisespenninger.

Sprekker kan oppstå i grunnmaterialet inntil og parallelt med sveisen, herdesprekker.



Herdesprekk inntil en sveis.

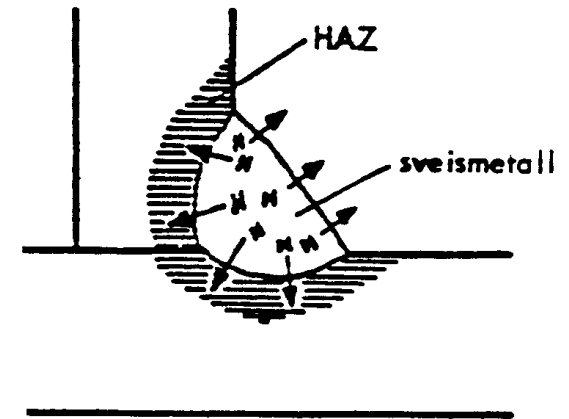
4 Hydrogensprøhet

Hvis det samtidig med martensittdannelse i sveiseonen er H til stede, er det større fare for herdesprekker.

H kan diffundere inn i grunnmaterialet i den varmepåvirkede sonen fra smelta.

Ved martensittdannelse synker løsligheten av H kraftig.

H utskilles og danner gassporer med høyt trykk som fører til sprekkdannelse i området nær sveisen i smeltegrensen.



Hydrogen diffunderer fra sveisemetallet inn i varmepåvirket sone (HAZ).

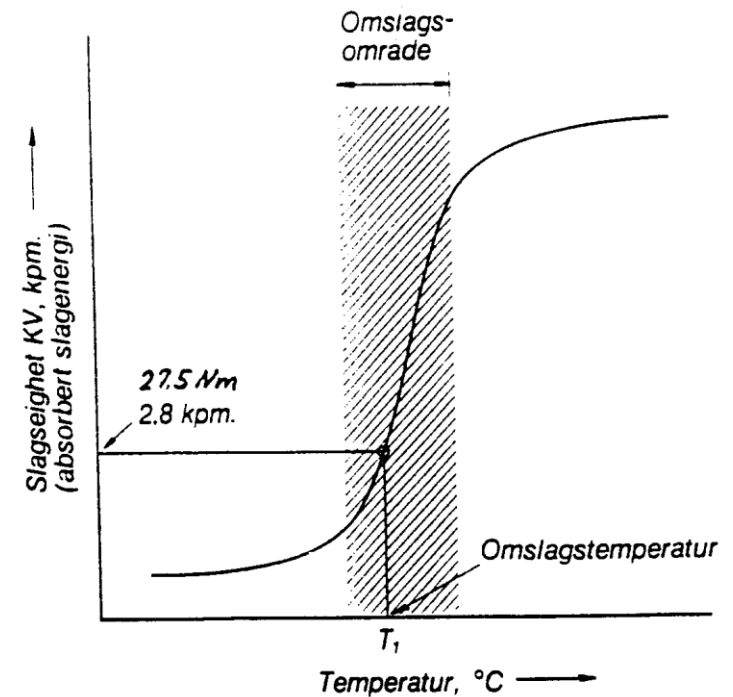
5 Sprøbruddømfintlighet

Stål bør ha gode fasthetsegenskaper, høy seighet og sikkerhet mot sprøbrudd.

Spesielt viktig hvor det kan oppstå en fleraksiell spenningstilstand med forhindret deformasjon, f. eks. sveisefeil som virker som bruddanvisere.

I et sprøtt materiale vil sveisen kunne tjene som startpunkt for et sprøbrudd.

For høy sprøbruddsikkerhet begrenses C-, legerings- og forurensningsinnholdet (S og P).



*Slagseigheten som funksjon av prøvetemperaturen.
Materialet oppfører seg sprøtt under omslagstemperatur T_1 og seigt over.*

6 Elding

Et stål kan være seigt og ha god sprøbruddsikkerhet i leveringstilstanden, men bli sprøtt ved sveising.

Elding eller eldingssprøhet kan inntreffe hvis stålet først utsettes for kalddeformasjon og så for oppvarming til 200 - 300°C.

Kalddeformasjonen har forårsaket en deformasjonsstyrking av stålet.

Stålet blir sprøtt og flytegrensen øker i områdene hvor det har vært utsatt for kalddeformasjon. Kalles **deformasjonselding**.

Høye tilførte spenninger i disse områdene vil kunne resultere i sprekker. Stålet har blitt **eldingssprøtt**.

Stål med høyt innhold av fritt ikke bundet N er utsatt for eldingssprøhet. Begrenser N-innholdet i sveisbare konstruksjonsstål.

KARBON-STÅL, (C-STÅL)

De vanlige C-stål inneholder ved siden av C mindre mengder Mn, normalt 0.4% - 0.7%. (Maks. 0.2%, kommer fra malm og skrot og resten tilsettes.)

Si tilsettes i tett og halvtett stål.

Inneholder ingen avmålte tilsetninger av legeringselementer.

Inneholder mindre mengder av forurensninger P, S, N, O og H.

Oppnår normalt flytegrenser, R_e , på 180N/mm^2 - 280N/mm^2 .

KARBON-MANGAN-STÅL, (C-Mn-STÅL)

Høyere fastheter enn de rene C-stål oppnås ved økning av Mn-innholdet.

Mn-innholdet i C-Mn stål begrenses vanligvis 1 til 1,8%.

Kan oppnå en flytegrense (R_e) på 340N/mm^2 .

Flytegrensen er ved siden av kjemisk sammensetning avhengig av dimensjon og nedvalsningsgrad samt varmebehandlings-tilstand og struktur.

Ved samme sammensetning oppnås noe lavere flytegrense ved større dimensjoner, se Norsk Standard.

Hvis vi vil beholde samme flytegrense ved større dimensjoner, må vi innholdet av legeringselementer noe.

For å oppnå høyere fasthet enn hva vi kan få med C-Mn stålene, kan vi gå frem på følgende 2 måter:

- Kan påvirke stålets struktur og derved øke fastheten ved finkornbehandling, varmebehandling eller spesielle valsemetoder.
- Øke tilsetningen av legeringselementer.

MIKROLEGERTE STÅL (FINKORNSTÅL)

Med finkornbehandling eller mikrolegering av C-Mn stål, kan vi oppnå flytegrenser (R_e) mellom 300N/mm^2 og 500N/mm^2 .

Tilsetter små mengder, 0.01% - 0.1%, av et finkorndannende legeringselement til ståsmelten. Al, Nb, V og Ti.

Disse legeringselementene reagerer med C og N og danner karbider, nitrider og karbonitrider, som danner små harde partikler ($0.03\mu\text{m}$ - $0.1\mu\text{m}$) eller utskillinger i austenitten.

I tilstrekkelig antall, låser de korn grensene og hindrer kornvekst i austenitten under varmvalsing og i nedkjølingsperioden etter avsluttet varmvalsing.

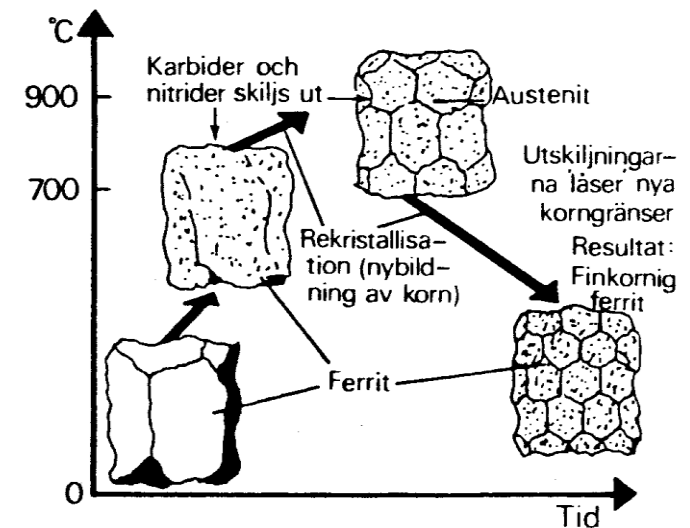
Vi får en mer finkornet ferrittstruktur.

Flytegrenseøkning på 50N/mm^2 - 150N/mm^2 i forhold til de rene C-Mn stålene.

Slagseigheten forbedres, senkning av omslagstemperaturen på 50°C eller mere. En stor del av N i stålet låses i form av nitrider. Tillater høyere N-innhold i disse stålene.

Mikrolegerte stål valeses som plater, bånd og profiler.

Sveisbarheten er i prinsippet den samme som for et C-Mn stål med samme basissammensetning. I NS-EN10025 er S235J2G3, S275J2G3 og SJ2G3 finkornbehandlet.



Finkornbehandling.

1. Tilsetting av finkorndannere
2. Støping i kokille eller strengstøpeanlegg
3. Varmvalsing ved ca. 1100°C , avkjøling i luft
4. Normalisering ved ca. 900°C , avkjøling i luft

Stål:	Domex 450	OX 602	NJA 503 XP
σ_F [N/mm ²]	min. 440	min. 490	min. 490
σ_B	min. 590	590 - 710	ca. 610
C [%]	max. 0,2	max. 0,17	ca. 0,08
Si	max. 0,8	0,15 - 0,50	ca. 0,1
Mn	max. 1,6	max. 0,15	ca. 1,4
P	max. 0,040	max. 0,030	max. 0,030
S	max. 0,040	max. 0,030	max. 0,025
N	max. 0,02		
V	max. 0,10		
Al		max. 0,03	

Eksempler på finkornbehandlede stål.

SEIGHERDEDE MIKROLEGERTE STÅL

Seigherding vil si herding og anløping.

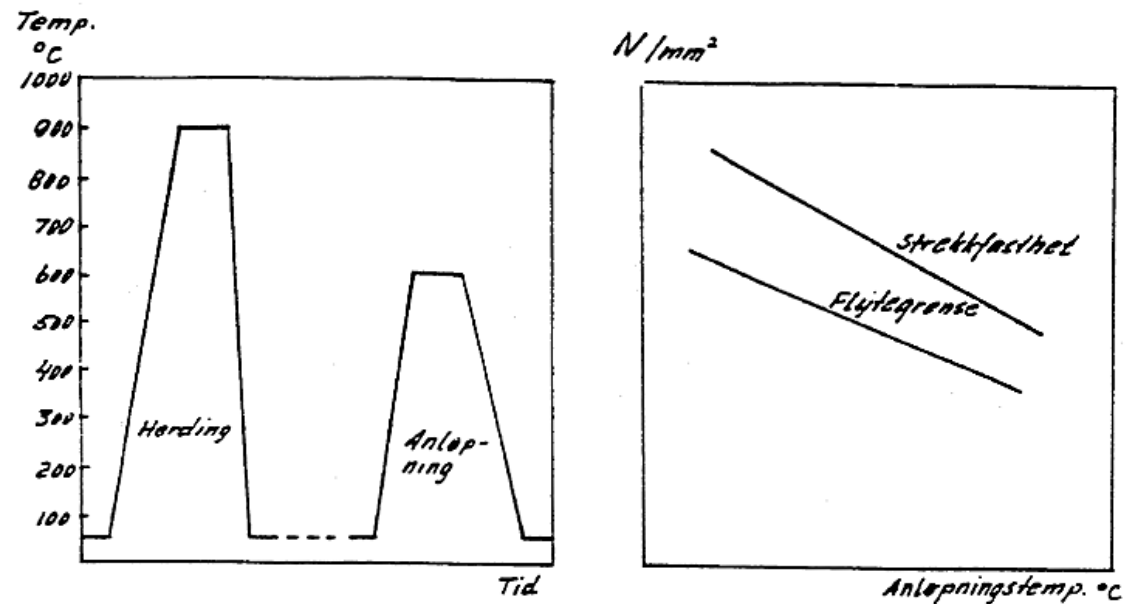
Seigherding gir høyere flyte- og bruddgrense og bedre slagseighet enn hos de samme stål i varmvalset eller normalisert tilstand.

Kan ha flytegrense opp til ca. 700N/mm².

De er sveisbare på samme måte som de mikrolegerte stålene.

Seigherdingen går tapt i en tynn stripe av den varmepåvirkede sonen. Stålene har likevel tilstrekkelig fasthet.

Stål:	OX 812
σ_F [N/mm ²]	690
σ_B	ca. 900
C [%]	max. 0,13
Si	0,30
Mn	1,35
P	0,020
S	0,004
V	0,05
B	0,002



Prinsippdiagram for seigherding, samt hvordan fastheten avhenger av anløpingstemperaturen.

Eksempel på seigherdet mikrolegert stål.

LAVLEGERTE KONSTRUKSJONSSTÅL

Ved å tilsette legeringselementer som Cr, Mo og Cu i stålene, kan flytegrensen forhøyes ytterligere.

Legeringsinnholdet velges lavt av hensyn til sveisbarhet og kostnader.

Stålene kan være både finkornbehandlet og seigherdet.

Stålene kan ha flytegrenser opp til 700N/mm² og høyere.

Stål:	OX 802	Corten A
σ_F [N/mm ²]	min. 690	min. 340
σ_B	790 - 940	ca. 480
C [%]	max. 0,16	ca. 0,12
Si	0,15 - 0,50	0,25 - 0,75
Mn	max. 0,15	0,20 - 0,50
P	max. 0,025	0,07 - 0,15
S	max. 0,025	max. 0,05
Mo	ca. 0,6	
Nb	ca. 0,04	
B	max. 0,005	
Cu		0,25 - 0,55
Cr		0,30 - 1,25
Ni		max. 0,65
	finkornbehandlet og seigherdet	normalisert

Eksempler på lavlegerte konstruksjonsstål.

Legeringselement		Strekfasthet	Hardhet	Slitestyrke	Korrosjonsegensk.	Herdbarhet	Varmefasthet	Eldingssikkerhet	Duktilitet	Skårslagsseighet	Sveisbarhet	Anmerkning
1	Karbon C	☺	☺	☺	○	☺	☹	☹	☹	☹	☹	
2	Aluminium Al	☹	☹	○	○	○	○	☺	☹	☹	☺	Finkorndannende
3	Bly Pb	★	★	★	☹	★	☹	☹	☹	☹	☹	
4	Bor B	☹	☹	☹	★	☹	☹	☹	☹	☹	○	
5	Fosfor P	☹	☹	☹	☹	○	○	☹	☹	☹	☹	Uønsket
6	Kobolt Co	☹	☺	☺	☹	☹	☹	○	☹	☹	☹	
7	Kopper Cu	☹	☹	○	☹	☹	○	○	○	☹	☹	
8	Krom Cr	☹	☺	☺	☺	☺	☹	○	☹	☹	☹	Finkorndannende
9	Mangan Mn	☹	☹	☹	○	☹	★	★	☹	○	☹	
10	Molybden Mo	☹	☹	☺	☹	☺	☹	☹	☹	☹	☹	Finkorndannende
11	Nikkel Ni	☹	☹	○	☹	☹	☺	○	○	☺	○	
12	Niob Nb	☹	○	○	☹	★	★	☹	☹	☹	☹	Finkorndannende
13	Silisium Si	☹	☹	★	☹	☺	☹	○	☹	☹	☹	
14	Svovel S	○	○	○	☹	○	☹	○	☹	☹	☹	Uønsket
15	Tanal Ta	☹	☹	★	★	★	★	☹	★	★	★	Finkorndannende
16	Titan Ti	☺	☹	★	☹	★	★	☹	☹	☹	☹	Finkorndannende
17	Vanadium V	☹	☺	☹	☹	☹	☺	☹	☹	☹	★	Finkorndannende
18	Wolftram W	☹	☺	☺	☹	☺	☺	☹	☹	★	☹	Finkorndannende

☺ markert virkning ☹ mindre virkning ○ ingen virkning
☹ negativ virkning ☹ mindre negativ virkning ★ ukjent virkning

Innvirkning av legeringselementer i stål.

Sveisbare konstruksjonsstål:

Betegnelse	deoksi- dasjon	under gruppe	C	Mn	Si maks %	P	S	N
S185	valgfri	BS	-	-	-	-	-	-
S235JR	valgfri	BS	0,20	1,40	-	0,045	0,045	0,009
S235JRG1	FU	BS	0,20	1,40	-	0,045	0,045	0,007
S235JRG2	FN	BS	0,17	1,40	-	0,045	0,045	0,009
S235J0	FN	QS	0,17	1,40	-	0,040	0,040	0,009
S235J2G3	FF	QS	0,17	1,40	-	0,035	0,035	-
S235J2G4	FF	QS	0,17	1,40	-	0,035	0,035	-
S275JR	FN	BS	0,21	1,50	-	0,045	0,045	0,009
S275J0	FN	QS	0,18	1,50	-	0,040	0,040	0,009
S275J2G3	FF	QS	0,18	1,50	-	0,035	0,035	-
S275J2G4	FF	QS	0,18	1,50	-	0,035	0,035	-
S355JR	FN	BS	0,24	1,60	0,55	0,045	0,045	0,009
S355J0	FN	QS	0,20	1,60	0,55	0,040	0,040	0,009
S355J2G3	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355J2G4	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355K2G3	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
S355K2G4	FF	QS	0,20	1,60	0,55	0,035	0,035	-
E295	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009
E335	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009
E360	FN	BS	-	-	-	0,045	0,045	0,009

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av **ulegert konstruksjonsstål**.

Kjemisk sammensetning i øsen for flate og lange produkter. S = konstruksjonsstål, E = maskinstål.

De første tre tall angir flytegrense og de etterfølgende bokstav- og tallkombinasjoner angir egnethet for sveising.

FU = utettet stål, FN = utettet stå ikke tillatt og FF = fullt tett. BS = basisstål og QS = kvalitetssål.

Stål, betegnelse	deoksi- dasjon	under- gruppe	Min. flytegrense R_{eH} i N/mm ² Nominell tykkelse i mm				Strekfasthet R_m i N/mm ² Nominell tykkelse i mm		
			>16 <40	>40 <63	>63 <80	>80 <100	<3 >3 <100	>3 >100 <150	>100 <150
S185	valgfri	BS	175	-	-	-	310-540	290-510	-
S235JR	valgfri	BS	225	-	-	-	360-510	340-470	-
S235JRG1	FU	BS	225	-	-	-	360-510	340-470	-
S235JRG2	FN	BS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J0	FN	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J2G3	FF	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S235J2G4	FF	QS	225	215	215	215	360-510	340-470	340-470
S275JR	FN	BS	265	255	245	235	430-580	410-560	400-540
S275J0	FN	QS							
S275J2G3	FF	QS							
S275J2G4	FF	QS							
S355JR	FN	BS	345	335	325	315	510-680	490-630	470-630
S355J0	FN	QS							
S355J2G3	FF	QS							
S355J2G4	FF	QS							
S355K2G3	FF	QS							
S355K2G4	FF	QS							
E295	FN	BS	285	275	265	255	490-660	470-610	450-610
E335	FN	BS	325	315	305	295	590-770	570-710	550-710
E360	FN	BS	355	345	335	325	690-900	670-830	650-830

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av **ulegert konstruksjonsstål**.
Mekaniske egenskaper for flate og lange produkter.

Stål, betegnelse	Deok- sida- sjon	Under grup- pe	Tem- pe- ra- tur	Minimum energi i J	
				Nom. tykkelse i mm >10 <150	>150 <250
S185	valgfri	BS	-	-	-
S235JR	valgfri	BS	20	27	-
S235JRG1	FU	BS	20	27	-
S235JRG2	FN	BS	20	27	23
S235J0	FN	QS	0	27	23
S235J2G3	FF	QS	-20	27	23
S235J2G4	FF	QS	-20	27	23
S275JR	FN	BS	20	27	23
S275J0	FN	QS	0	27	23
S275J2G3	FF	QS	-20	27	23
S275J2G4	FF	QS	-20	27	23
S355JR	FN	BS	20	27	23
S355J0	FN	QS	0	27	23
S355J2G3	FF	QS	-20	27	23
S355J2G4	FF	QS	-20	27	23
S355K2G3	FF	QS	-20	40	33
S355K2G4	FF	QS	-20	40	33
E295	FN	BS	-	-	-
E335	FN	BS	-	-	-
E360	FN	BS	-	-	-

Utdrag av NS-EN 10025. Varmvalsede produkter av **ulegert konstruksjonsstål**.
Slagseighet for flate og lange produkter.

Maksimalverdier %									
Kvalitet	C	Mn	Si	P	S	N	B	Cr	Cu
-				0,025	0,015				
L	0,20	1,70	0,80	0,020	0,010	0,015	0,005	1,50	0,50
L1				0,020	0,010				

Maksimalverdier %									
				Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr
Alle kvaliteter				0,70	0,06	2,0	0,05	0,12	0,15

Stål, betegnelse	Min flytegrense R_{eH} Nominell tykkelse mm			Strekfasthet R_m Nominell tykkelse mm			Min brudd- forleng- else %
	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	≥ 3 ≤ 50	> 50 ≤ 100	> 100 ≤ 150	
S460Q S460QL S460QL1	460	440	400	550-720		500-670	17
S500Q S500QL S500QL1	500	480	440	590-770		540-720	17
S550Q S550QL S550QL1	550	530	490	640-820		590-77	16
S620Q S620QL S620QL1	620	580	560	700-890		650-830	15
S690Q S690QL S690QL1	690	650	630	770-940	760-930	710-900	14
S890Q S890QL S890QL1	890	830	-	940-1100	880-1100	-	11
S960Q S960QL	960	-	-	980-1150	-	-	10

Utdrag av NS-EN 10137. Plater og bredflatstål av høyfast stål.
Kjemisk sammensetning. Mekaniske egenskaper av seigherdet stål.

RUSTFRIE / KORROSJONSBESTANDIG STÅL

Vanlige karbonstål korroderer (ruster) i luft og vann.

Ved å legere stål med enkelte legeringselementer nedsettes korrosjonshastigheten.

Cr gir størst effekt hvis tilsatt over 12%.

Vi får det vi kaller et **RUSTFRITT STÅL**.

Stålet overtrekkes med en tynn hinne av Cr-oksyd. (Fe-oksyd – hinnen, rust, hos alminnelige stål.)

Hinnen er så tett og fastsittende at den beskytter stålet mot videre oksydasjon eller korrosjon. Stålet er blitt passivisert.

"Rustfritt stål" er misvisende. Med 12% Cr, vil stålet f.eks. korrodere i saltvann. ► **KORROSJONSBESTANDIG STÅL**

Cr gir også bedre bestandighet mot atmosfærisk korrosjon ved høyere temperaturer.

VARMEFASTE STÅL, stål med høye Cr – innhold, 20 - 25 %.

Ni og Mo gjør stålene motstandsdyktige også mot reduserende syrer.

SYREFASTE STÅL blir ofte brukt på stål tilsatt Ni og Mo.

Grensene mellom varmebestandige, syrefaste og rustfrie stål er uskarpe, samlebetegnelse er rustfrie stål.

TYPER AV RUSTFRIE / KORROSJONSBESTANDIG STÅL

INDELING ETTER STRUKTURTYPER:

FERRITTISKE rustfrie stål

- 14 - 30% Cr og relativt lavt karboninnhold (0,05 - 0,25% C).
- Mekaniske egenskaper er gode på grunn av krominnholdet.
- Korrosjonsmotstanden er moderat.
- Ferritt, kubisk romsentrert gitterstruktur, er den mest stabile struktur i rustfrie stål.
- Eksempler på bruk: Diskplater, kjøkkentøy, pyntelister (biler), beholdere og utstyr (kjemisk industri)

MARTENSITTISKE rustfrie stål

- 13 - 17% Cr og relativt høyt karboninnhold (0,10 - 1,0% C).
- Mange er luftherdende og veldig harde og sprø.
- Korrosjonsmotstanden er liten.
- Martensitt er en ustabil avkjølingsstruktur hos ulegerte stål, men er stabil hos en annen type rustfrie stål
- Eksempler på bruk: Verktøy, spisebestikk og kirurgiske instrumenter.

AUSTENITTISKE rustfrie stål

- 12 - 25% Cr og 8 - 25% Ni og eventuelt noe Mo og Cu.
- Stålene er seige og godt formbare.
- Korrosjonsmotstanden er veldig god.
- Dette er den største gruppen av rustfrie stål med over 95% av forbruket.
- Austenitt har kubisk flatesentrert gitterstruktur og er bare stabil ved høyere temperaturer i ulegerte stål, men er stabil ved romtemperatur i mange rustfrie stål.
- Har et vidt bruksområde.

DUPLEX stål brukes som betegnelse på stål med en blandingsstruktur av austenitt og ferritt.

- 18 - 27% Cr og 3 - 7% Ni.
- Korrosjonsbestandighet og mekaniske egenskaper ligger i området mellom de austenittiske og ferrittiske stålene.
- Duplex betyr i videre forstand stål med to strukturtyper, og betegnelsen kan også bli brukt på stål med andre blandingsstrukturer.

INDELING ETTER LEGERING:

Korrosjonsbestandige krom (Cr) - stål - stålene er ferritiske eller martensittiske

Korrosjonsbestandige krom (Cr) - nikkel (Ni) - stål - stålene er austenittiske

- [International Stainless Steel Forum](#)

EGENSKAPER

Fysikalske egenskaper

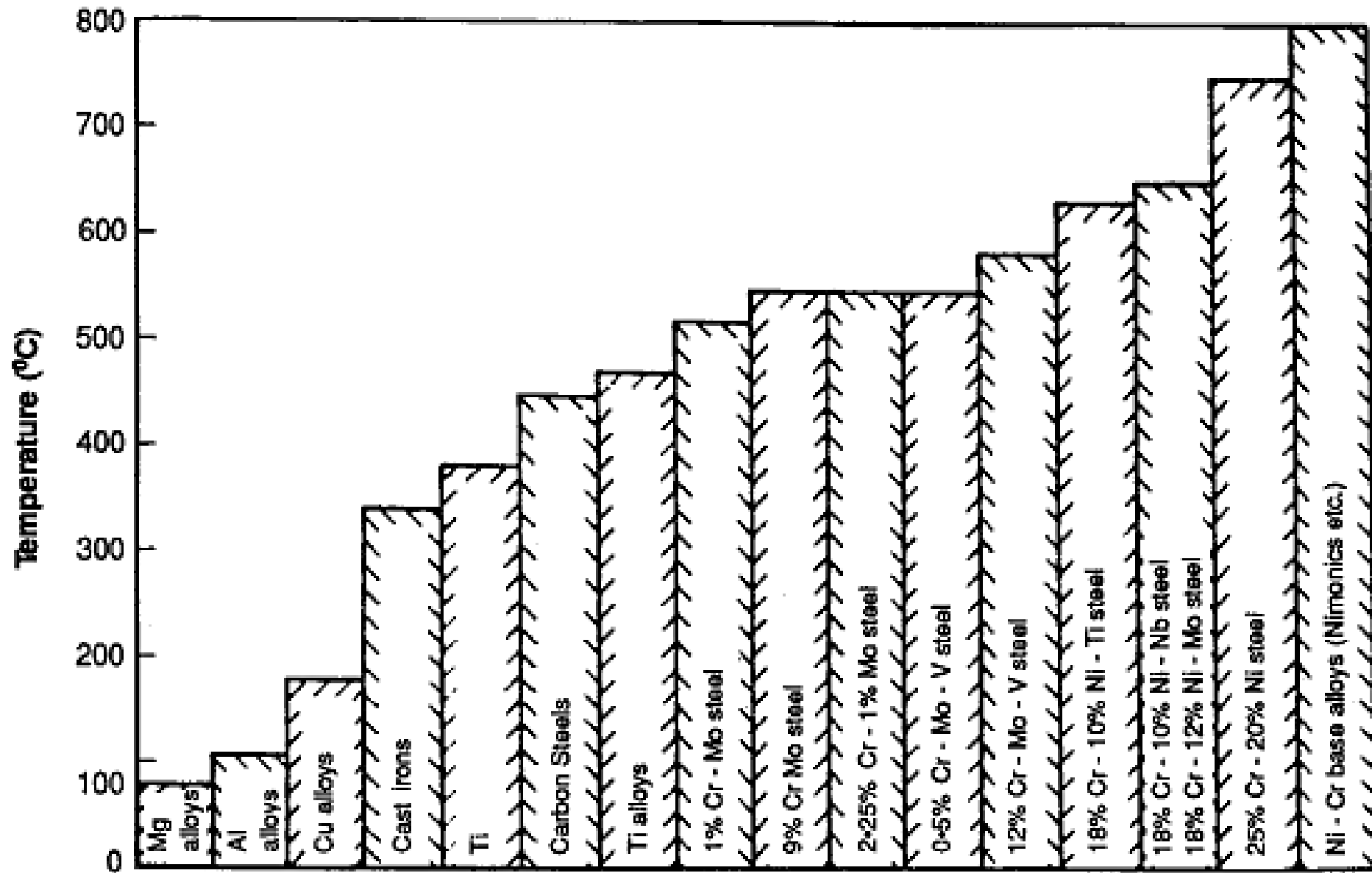
Materiale	C-stål	Cr-stål		Cr-Ni-stål		
Analyse: Cr %	-	13	17	26	18	25
Ni %	-	-	-	5	9	20
Strukturtype		martensitt	ferritt	duplex	austenitt	austenitt
Lengdeutvideleskoeffisient ved 20-800°C x 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	13	13	13	14	20	18
Varmeledningsevne ved 20-100°C W/m °C	47	26	23	21	16	14
Elektrisk lednings-motstand ved 20°C nΩm	150	600	600	850	700	950

Fasthetsegenskaper ved høy temperatur

Ståltipe	Flytegrenser (N/mm ²) ved Temperatur (°C)				
	20	400	500	600	700
Ulegert stål	270	120	10	-	-
13% Cr - stål	290	220	180	120	50
25% Cr, 5% Ni	490	370	350	200	80
18% Cr, 8% Ni	230	170	160	150	110
25% Cr, 20% Ni	260	210	200	190	130

Ved høyere temperaturer vil siging være hovedproblemet.

Brukstemperatur, ut i fra sigeegenskaper. De rustfrie stålene kan brukes opp til 500 - 750°C.



KORROSJONS- OG STRUKTURPROBLEMER

Generelt

Stålene er veldig korrosjonsbestandige.

Det høye Cr - innholdet over ca. 12% **Cr bevirker dannelsen av en tett fastsittende passiv film på overflaten.**
Filmen gir veldig god beskyttelse mot korrosjon jevnt fordelt over hele overflaten.

Oksyderende miljøer som luft og oksyderende syrer (f.eks. HNO_3) hjelper til med å opprettholde og å danne filmen.

Andre stoffer som klorider, sveiseslagg, reduserende syrer m.fl. kan angripe eller hindre dannelsen av denne passive filmen.

De kan forårsake korrosjonsangrep på rustfrie stål.

Korrosjonsangrepene er lokale og kan gi ubehagelige overraskelser.

Interkrystallinsk korrosjon - karbiddannelse

Oppvarming av austenittisk rustfritt stål til mellom 450 - 900°C kan føre til utfelling av Cr-karbider (Cr + C) på korn grensene.

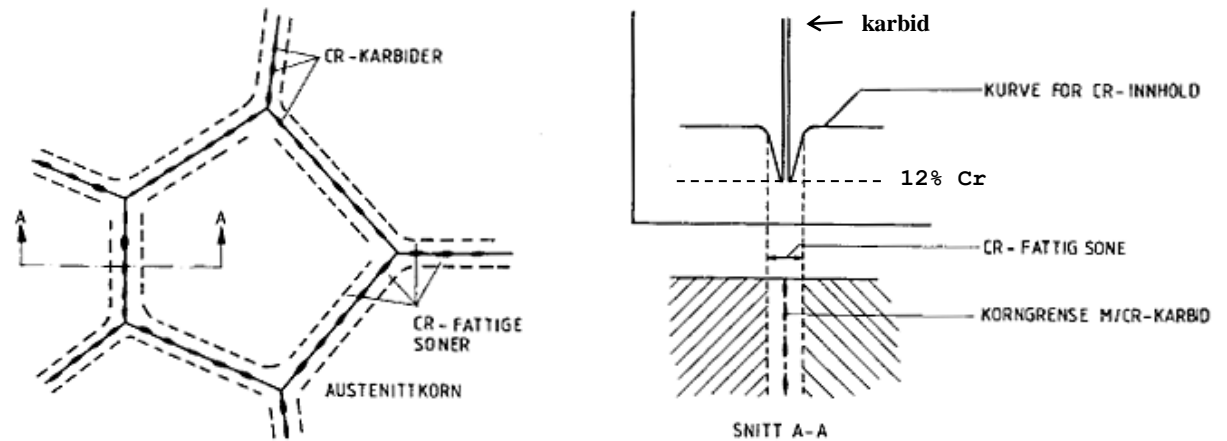
Cr-karbidene deltar ikke i korrosjonsbeskyttelsen.

Når legeringen utsettes for en korrosiv væske opptrer korrosjon langs korn grensene.

I varmpåvirket sone i en sveis vil vi ha det kritiske temperaturområde Cr-karbiddannelse.

Vi kan begrense dette ved:

- Lavt C < 0,02% fører til at dannelse av Cr-karbider tar lengre tid enn tiden materialet oppholder seg i kritiske temp.område
- Å tilsette stoffer som kan binde seg til C sterkere og hurtigere enn Cr. (eksempel Nb og Ti)



Cr-karbidutskillelse på korn grensene.

Punktkorrosjon

Et viktig korrosjonsproblem i rustfritt stål.

Korrosjonsangrep som starter i punkter på overflaten og brer seg i dybden inn i materialet.
Hvis angrepet får gå langt nok, gjennomhulles materialet.

Opptreder der det beskyttende oksydsjiktet svekkes.

Forårsakes gjerne av urenheter eller partikler.

Eksempel: slaggrester fra sveising, avleiringer av skitt, urenheter i materialet, skader i overflaten m.m.
Opptreder spesielt i halogenholdig miljø (f.eks. havvann).

Forebyggende tiltak er grundig rengjøring kombinert med eventuell sliping og polering.

Ståltype	Bestandighet mot punkt- og spaltekorrosjon		Bestandighet mot spenningskorrosjon
	start	forplantning	
17Cr	1	1	10
18Cr - 2Mo	6	5	10
25 - 5 - 1,5 Mo	7	6	9
18-9	2	4	1
17 - 12 - 2.5 Mo	6	7	3
20 - 25 - 4,5 Mo - 1,5 Cu	10	10	8

*Rustfrie ståltyper i kloridmiljø
Karakter 1 = dårligst, 10 = best*

Spenningskorrosjon

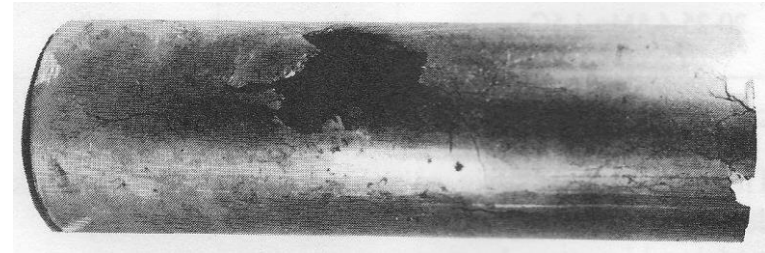
Austenittisk rustfritt stål (som mange andre med kubisk flatesentrert gitterstruktur) er følsomt for spenningskorrosjon.

Skyldes en kombinasjon av strekkspenninger og korrosivt miljø.

Austenittiske rustfrie stål er spesielt utsatte i kloridholdig miljø over 70°C.

Sterkt alkaliske løsninger (f.eks. kokende NaOH og KOH) kan også forårsake spenningskorrosjon.

Avspenningsgløding for å eliminere spenningskorrosjon utføres over 800°C.



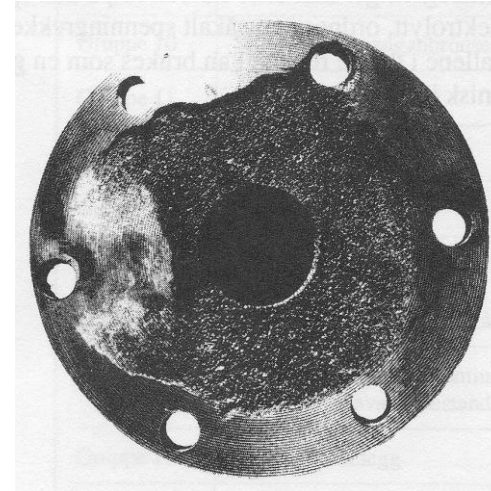
Spenningskorrosjon på dampledning i SS stål 2343 forårsaket av kloridholdige løsninger på rørets utside.

Spaltekorrosjon

Opptrer i spalter.

Oksygentilførselen som er nødvendig for å opprettholde et passivt og beskyttende oksygensjikt kan bli mangelfull.

Korrosjonsangrepet kan begynne i spalten og bre seg inn i materialet i likhet med punktkorrosjon.



Spaltekorrosjon under ventilflens på havvannsførende kjøleledning.

Tiltak:

- Unngå spalter som f.eks. overlappforbindelser og flenseforbindelser.
- Materiale med god bestandighet mot punktkorrosjon vil også være mer bestandig mot spaltekorrosjon.
- Økt innhold av Mb og Cr er Spesielt gunstig.

Galvanisk korrosjon

Oppstår når to forskjellige elektrisk ledende metaller som er forbundet med hverandre kommer i kontakt med en elektrisk ledende væske (elektrolytt).

Det uedleste av metallene vil da gå i oppløsning som ioner, og det vil oppstå en elektrisk strøm.

Rustfrie stål med passive oksidsjikt er i en passiv tilstand, og er edlere enn de fleste andre konstruksjonsmaterialer.

Rustfrie stål kan forårsake kraftig galvanisk korrosjon på uedlere metaller som Zn, Al og konstruksjonsstål i fuktige miljøer.

Spesielt hvis arealet av rustfritt stål er stort i forhold til det uedlere metallet.

Et metall i kontakt med en elektrolytt får et elektrisk potensial (spenning) i forhold til elektrolytten.

De edleste metallene har de høyeste potensialene, de uedleste har de laveste.

Metaller og metallegeringer kan etter størrelse på den spenning de får ved dypping i en elektrolytt, ordnes i en spenningsrekke.

Avstanden mellom metallene i rekken kan brukes som en grov bedømmelse av faren for galvanisk korrosjon.

Passiv, edel og katodisk ende	
Gruppe 1	Gull, platina
Gruppe 2	Grafitt
Gruppe 3	Titan og titanlegeringer
Gruppe 4	Sølv
Gruppe 5	Nikkellegeringer med 13 - 20% Cr (Inconel, Hastelloy)
Gruppe 6	Rustfne stål (passive)
Gruppe 7	Nikkel og nikkelbelegg (passive)
Gruppe 8	Kobber, messing (Cu-Zn-legering), silisiumbronse, tinnbronse, aluminiumbronse og kobber-nikkellegering.
Gruppe 9	Nikkel og nikkelbelegg (aktive)
Gruppe 10	Blybronse, manganbronser og Cu- Zn- Sn-bronser
Gruppe 11	Bly og tinn
Gruppe 12	Rustfrie stål (aktive)
Gruppe 13	Lodde tinn
Gruppe 14	Støpt stål med høyt nikkelinnhold
Gruppe 15	Stål, støpejern og støpt stål
Gruppe 16	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg (sjøvannsbestandige)
Gruppe 17	Kadmiumbelegg
Gruppe 18	Ren aluminium og aluminiumlegeringer med Mg, Si eller Mn (herdbare og ikke herdbare)
Gruppe 19	Sink og sinkbaserte stål
Gruppe 20	Magnesium og magnesiumbelegg
Korrosiv, uedel og anodisk ende	

Metallenes spenningsrekke i sjøvann.

Metaller innen en og samme gruppe kan kobles sammen i en elektrolytt uten at korrosjonen på det uedleste metall øker.

Erosjonskorrosjon

Når en væske strømmer langs en metalloverflate kan metalloverflaten bli utsatt for en mekanisk slitasje som fører til korrosjon.

Væskestrømmen sliter bort det beskyttende belegget slik at metalloverflaten blir ren og aktiv, og vi får korrosjon i form av grøfter og groper, avhengig av strømningsretningen og lokale strømningsforhold.

Rør, bend, propeller, turbinhjul og dyser er utsatt.

Mest er materialer beskyttet av oksidbelegg som ikke har særlig stor fasthet og som hefter dårlig til underlaget.

Pb, Al, Al-legeringer, Cu, Cu-legeringer og stål har oksidbelegg som hefter dårlig til underlaget og er derfor følsomme for erosjonskorrosjon.

Rustfrie stål, Ti- og Ni-legeringer har større motstandsevne pga. faste og godt vedheftende passivfilmer.

Eksempler på rustbestandige stål:

1 Analysekrav

Tabell 1 Øseanalyse 1)
Table 1 Ladle analysis

Standard	Struktur Structure	C		Si	Mn	P	S	Cr		Ni		Mo		Andre grunnstoffer Other elements
		min.	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	min.	maks.	
NS 14115	Ferrittisk	-	0,025	1,0	0,5	0,040	0,020	17,0	19,0	-	0,50	2,0	2,5	Ti min. 0,20 + 4(C+N) Ti maks. 0,80 N maks. 0,025
NS 14210	Martensittisk	0,18	0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	12,0	14,0	-	1,0	-	-	
NS 14230	Martensittisk	0,17	0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0	18,0	1,25	2,5	-	-	
NS 14240	Martensittisk/ Austenittisk	-	0,05	1,0	1,5	0,045	0,030	15,0	17,0	4,0	6,0	0,80	1,5	
NS 14310	Ferrittisk/ Austenittisk	-	0,10	1,0	2,0	0,045	0,030	24,0	27,0	4,5	7,0	1,3	1,8	
NS 14325	Ferrittisk/ Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,030	0,020	21,0	23,0	4,5	6,5	2,5	3,5	N min. = 0,08 N maks. = 0,20
NS 14330	Austenittisk (Automatstål)	-	0,12	1,0	2,0	0,060	0,35	17,0	19,0	8,0	10,0	-	0,60	
NS 14350	Austenittisk	-	0,05	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	8,0	11,0	-	-	
NS 14355	Austenittisk	-	0,08	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	9,0	12,0	-	-	Ti min. = 5xC Ti maks. = 0,80
NS 14360	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0	19,0	9,0	12,0	-	-	
NS 14450	Austenittisk	-	0,05	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	10,5	14,0	2,5	3,0	
NS 14455	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	11,0	14,0	2,0	2,5	
NS 14460	Austenittisk	-	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0	18,5	11,5	14,5	2,5	3,0	
NS 14480	Austenittisk (Varmefast)	-	0,06	1,5	2,0	0,045	0,030	24,0	26,0	19,0	22,0	-	-	
NS 14485	Austenittisk	-	0,025	1,0	2,0	0,040	0,030	19,0	21,0	24,0	26,0	4,0	5,0	Cu min. = 1,2 maks. = 2,0

1) Tabellen gjelder kun for plastisk bearbeidbart stål.

1) The table applies for wrought steels only.

Rustfrie stål etter Norsk Standard NS 14001.

2 Mekaniske egenskaper ved romtemperatur

2 Mechanical properties at room temperature

Tabell 2 1)
Table 2

Standard	Leveringstilstand Delivery condition		Godstykkelse Section thickness mm t.o.m. up to and including	Flytegrense Proof stress 2)		Strekfasthet Tensile strength R_m N/mm ²	Forlengelse Elongation 3)		Kontraksjon Reduction of area Z % min.	Slagseighet Impact toughness KV J min.	Hardhet Hardness 4) HB maks.
				$R_{p0.2}$ N/mm ² min.	$R_{p1.0}$ N/mm ² min.		A_5 % min.	A_{10} % min.			
NS 14115	★	02	10	340	–	440–640	25	18	–	–	(210)
NS 14210	Glødet	02	2	–	–	740 maks.	–	–	–	–	(245)
NS 14230	Annealed	02		–	–	–	–	–	–	–	(270)
NS 14240	Seigherdet Quenched and tempered	04	100	620	660	830–1030	15	–	40	60	(260–320)
NS 14310	Austenitt- glødet Solution treated	02	–	450	–	600–800	20	15	–	25	(260)
NS 14325		02	30	480	–	680–880	25	–	–	–	(290)
NS 14330		02	100	210	–	490–780	35	–	–	–	(220)
NS 14350		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14355		02	30	210	240	490–690	40	33	–	–	(210)
NS 14360		02	30	190	220	460–640	45	38	–	–	(190)
NS 14450		02	30	220	250	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14455		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14460		02	30	210	240	490–690	45	38	–	–	(200)
NS 14480		02	2	–	–	780 maks.	–	–	–	–	–
NS 14485	02	50	220	250	550–750	35	–	–	–	(220)	

★ Austenittglødet/Solution treated

Rustfrie stål etter Norsk Standard NS 14001.

Den internasjonalt best kjente standarden for rustfrie stål er utarbeidet av AISI (American Iron and Steel Institute).

Hovedbetegnelsen består her av tre tall.

Tilleggsbokstaver kan differensiere mer detaljert.

Nummerbetegnelsene etter AISI er grovt inndelt:

2xx Cr – Mn - Ni rustfrie stål

3xx Cr - Ni rustfrie stål (også Mo - legerte)

4xx Cr rustfrie stål

5xx Varmefaste legeringer med opp til 9% Cr

6xx Superlegeringer

AISI (amerikansk)	Norsk Standard	Werkstoff-Nr. (tysk)	SIS (svensk)	B.S. (britisk)	Afnor (fransk)
301	-	1,4310	-	-	-
302	14320	1,4300	2330	302S25	Z12CN 18-10
302 B	-	1,4330	-	-	-
303	14330	1,4305	2346	303S21	-
304 304	14340 (14350)	1,4301 1,4301	2332 2333	304S15 304S16	Z6CN 18-10 (Z5CN 18-10)
304 L	14360	1,4306	2352	304S12	Z2CN 18-10
347	-	1,4550	2338	347S17	Z10CNCNb 18-10
321	14355	1,4541	2337	321S12	Z10CNT 18-10
316 316	- 1440	1,4401 1,4436	2347 2343	316S16 316S16	Z5CND 18-12 Z5CND 18-12
316 L 316 L	- 14460	(1,4404) 1,4435	2353 2353	316S12 316S12	Z2CND 18-12 Z2CND 18-12
316 Ti 316 Ti	- -	(1,4571) 1,4573	2344 2344	320S17 320S17	Z8CNDT 18-12 Z8CNDT 18-12
316 Nb 318 316 Nb	- - -	(1,4580) 1,4583	2345 2345	318S17 318S17	Z8CNDNb 18-12 S8CNDNb 18-12
316 LN	-	1,4429 (1,4406)	2375	-	-
317 317 L	- -	(1,4449) 1,4438	- -	317S16 -	- -
304 LN	-	1,4311	2371	-	-
309	-	(1,4828)	-	309S24	Z15CNS 25-13
310 S	14480	(1,4845)	2361	(310S24)	(Z10CNS 25-20)
329	14310	-	2324	-	-
410	-	1,4006	2302	410S21	-

Korresponderende stålstandarder fra flere land.

Ferrittiske rustfrie stål

- 14 - 30% Cr
- 0,02 - 0,25% C, lavt
- Kubisk romsentrert gitterstruktur
- Ikke herdbare
- Mekaniske egenskaper er gode
- Korrosjonsmotstanden er moderat
- Magnetiske

Martensittiske rustfrie stål

- 13 - 17% Cr
- 0,10-1,0% C, relativt høyt
- Herdbare, dannes martensitt, noen er luftherdende
- Harde og sprø
- Korrosjonsmotstanden er liten
- Magnetiske

Varmebehandling

Kan normalt ikke herdes ved varmebehandling.

Aktuell varmebehandling er gløding for å fjerne deformasjonsstruktur, redusere restspenninger eller gi gode korrosjonsegenskaper.

Sveising

Kan sveises med godt resultat om det tas hensyn til enkelte spesielle forhold.

Varmebehandling

Herdes ved oppvarming og bråkjøling.

Hardheten etter herding er avhengig av C-innholdet.

Har høy herdbarhet og kan luftherdes i tykkelser opp til ca. 300mm.

Sveising

Veldig vanskelig sveisbare på grunn av sin herdbarhet.

Faseomvandling fra austenitt til martensitt fører til volumøkning, hardhetsøkning, seighetstap og fare for herdesprekker.

Austenittiske rustfrie stål

- 12 - 25% Cr, 8 - 25% Ni + noe Mo og Cu
 - 0,20% C, maksimalt
 - Kubisk flatesentrert gitterstruktur
 - Vanligvis ikke herdbare
 - God styrke i varme på grunn av legeringselementene
 - Seige og godt formbare
 - Veldig god korrosjonsmotstand
 - Umagnetiske
 - Den største gruppen over 95% av forbruket
 - ca. 20% Cr, ca. 20% Ni, ca. 6% Mo + noe N gir spesielt gode korrosjonsegenskaper i sjøvann og andre kloridholdige miljøer
- Eksempler: Avesta 254SM0, VDM Cronifer 1925 og V.E.W. A963 - betegnes ofte som "super austenittiske"

Duplex rustfrie stål

- 25% Cr og 5 - 9% Ni
- C-innhold under 0,20% ofte maks.0,03%.
- **Blandingstruktur av austenitt og ferritt**
- Har høyere fasthet enn austenittiske
- Har god korrosjonsmotstand

Varmebehandling

Har ingen forandring av strukturtype under oppvarming og kan derfor ikke herdes ved varmebehandling.

Aktuelle varmebehandlinger er gløding etterfulgt av bråkjøling og avspenningsgløding.

Sveising

Regnet som veldig godt sveisbare.

Strukturen er duktil og har god slagseighet.

Noen typer kan være følsomme for varmesprekker og karbiddannelse med fare for interkrystallinsk korrosjon



ISSF has launched a video called **Stainless Steel Roofing**: from Dream to Reality. The video explains why stainless steel is the ideal material for any roof.

You can watch the video on YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=ZQledV2QFRY>



[Stainless Steel Reinforcing Bar](#)

A flash presentation describing the advantages of using stainless steel rebar.

MEKANISKE EGENSKAPER OG TESTING AV DEM

Materiallegenskaper kan deles inn i grupper:

- ▶ **Mekaniske**
Utrykk for materialers reaksjon på ytre krefter:
 - Fasthetsegenskaper
 - Hardhet
 - Bruddfasthet, flytegrense, utmattingsfasthet
 - Forlengelse

- ▶ **Teknologiske**
Evnen til å la seg forme ved:
 - smiing
 - støping
 - sveising
 - avsporing
 - trekking

- ▶ **Fysikalske**
Evne til å
 - lede elektrisitet
 - lede varme

- ▶ **Kjemiske**
Evnen til å ha
 - korrosjonsbestandighet
 - varmebestandighet

- **Lar seg ikke beregne** nøyaktig ut fra kjente strukturdata
- Fastlegges **eksperimentelt** ved materialprøving **etter standardiserte prøvemetoder**
Det finnes standarder for:
 - utførelse
 - dimensjoner
 - hvor ta ut prøver

Prøveresultatene gjelder kun for prøvestykkene → egner seg kun for sammenligning

- **Også:**
 - Modellprøving i skala
 - Fullskalaprøving

Prøvemethodene:

- **Destruktive** metoder
 - strekkprøving
 - trykkprøving
 - bøyepøving
 - hardhetsmåling
 - utmattingsprøving
 - sigepøving
 - bruddmekanisk prøving
 - slitasjepøving
- **Ikke Destruktive** metoder (Non Destructive Testing, NDT)
 - røntgenprøving
 - ultralydprøving
 - tetthetsprøving
 - akustisk emisjon

Destruktive prøvemeter▫ **Strekprøving****Egenskaper som kan måles:**

- Nominell eller konvensjonell spenning	$R = \frac{F}{S_0} \left[\text{N/mm}^2 \right]$
- Nominell tøying	$e = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 [\%]$
- Flytegrense	$R_e \left[\text{N/mm}^2 \right]$
- Konvensjonell flytegrense (0,2 % grense)	$R_{p_{0,2}} \left[\text{N/mm}^2 \right]$
- Strekkfasthet	$R_m \left[\text{N/mm}^2 \right]$
- Bruddforlengelse	$A = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 [\%]$
- Bruddkontraksjon	$Z = \frac{S - S_0}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 [\%]$
- Elastisitetsmodul	E

hvor:

F = strekkraft

S₀ = tverrsnittsareal før strekking

S = tverrsnittsareal under / etter strekking

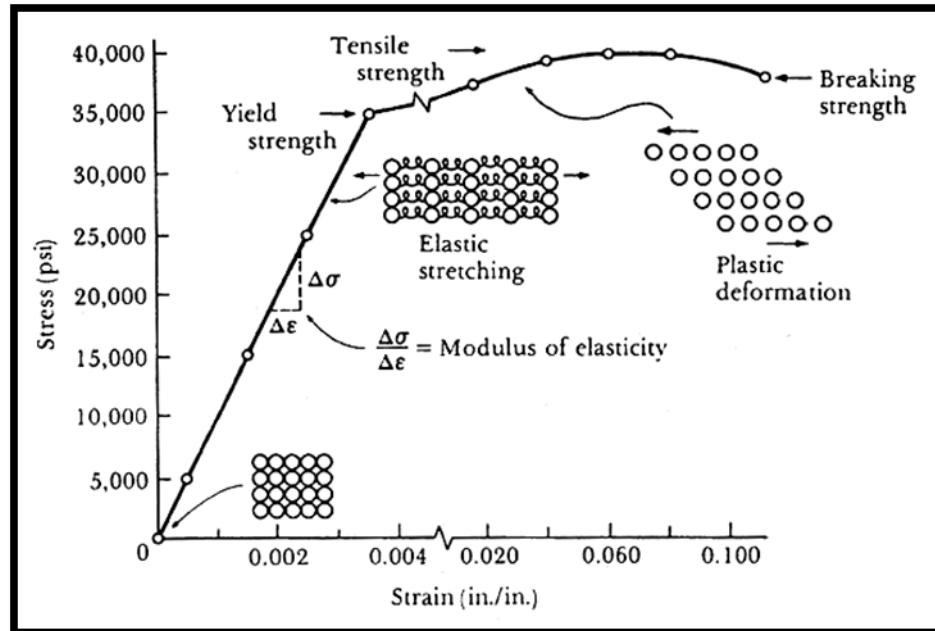
L₀ = lengde før strekking

L = lengde under / etter strekking

ΔL = endring i lengde

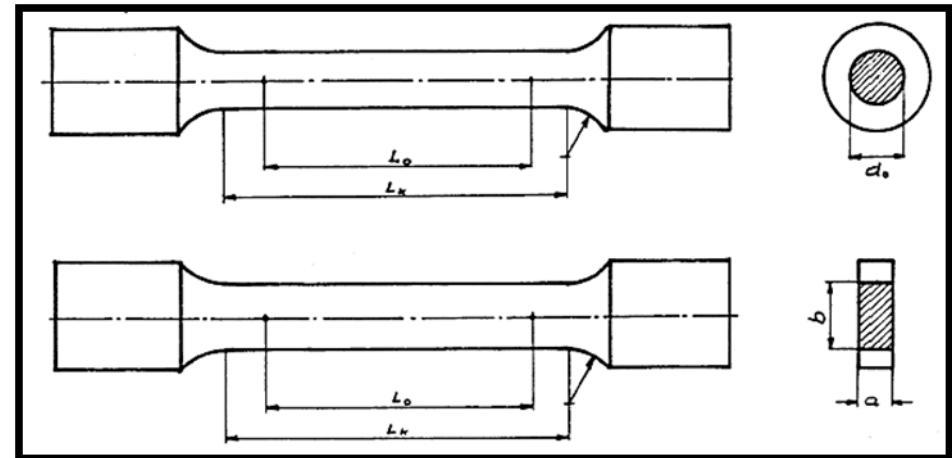
ΔS = endring i tverrsnittsareal

Testkurve:



Spenning(stress) – forlengelse (strain) kurve for en aluminium legering.
(psi = pounds/inch², in/in = inch/inch)

Standardiserte prøvestaver:



Prøvestaver for strekkprøving.
Vanlige prøvelengder $L_0 = 10 d_0$ eller $L_0 = 5 d_0$

- [Tensile testing](#) Materials Eng, Online Tutorials
- [Tensile Test](#) YouTube

Hardhetsprøving

Hardhet kan defineres som motstand mot plastisk deformasjon.

Prøvemethoder:

Brinell, HB (Hardhet Brinell)

- Herdet stålkule med standardisert diameter, D , presses inn i prøvestykke med en standardisert kraft, F
- Diameter på kulekalottmerke, d , i prøve måles
- Gir reproducerbare verdier bare for en bestemt F og D
- Tilnærmet reproducerbarhet ved ulike belastninger når d/D er konstant ($F/D^2 \approx \text{konst.}$)

Hardhetstall:

$$HB = \frac{\text{last}}{\text{kontaktflate}} [\text{ubenevnt}]$$

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \frac{P}{\pi D h} [\text{ubenevnt}]$$

Hvor h = inntrengningsdybden

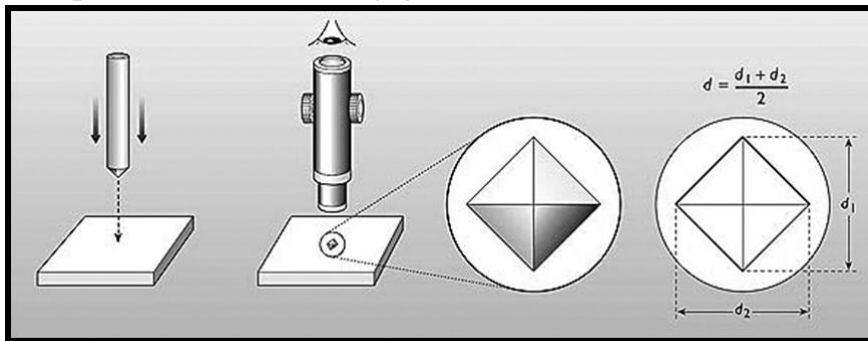
Hvickershardhet, HV (Hardhet Vickers)

- Diamantpyramide med spissvinkel 136° presses inn i prøvestykke med en standardisert kraft, F
- Diagonalene, d_1 og d_2 , i prøve måles
- Kraft, F , og tid etter standard
- d_1 og d_2 måles. Midlere verdi, d , beregnes
- Metoden er reproducerbar uavhengig av last

Hardhetstall:

$$HV = \frac{\text{last}}{\text{kontaktflate}} [\text{ubenevnt}]$$

$$Hv = \frac{1,854P}{d^2} [\text{ubenevnt}]$$



Vickers hardhet test.

HV \approx HB opp til verdier på ca. 400 for stål og noen ikke jern materialer.

Rockwell hardhet, HR (Hardhet Rockwell)

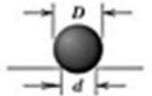
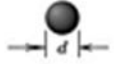




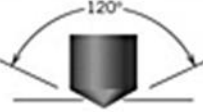



- Måler inntrengningsdybde
- Det settes på en forbelastning, F_0 , for å sikre en utgangsflate for målingen
- Deretter pålegges en tilleggslast, F_1
- Dybden, e , måles

Det finnes flere HR-metoder.

De vanligste er:

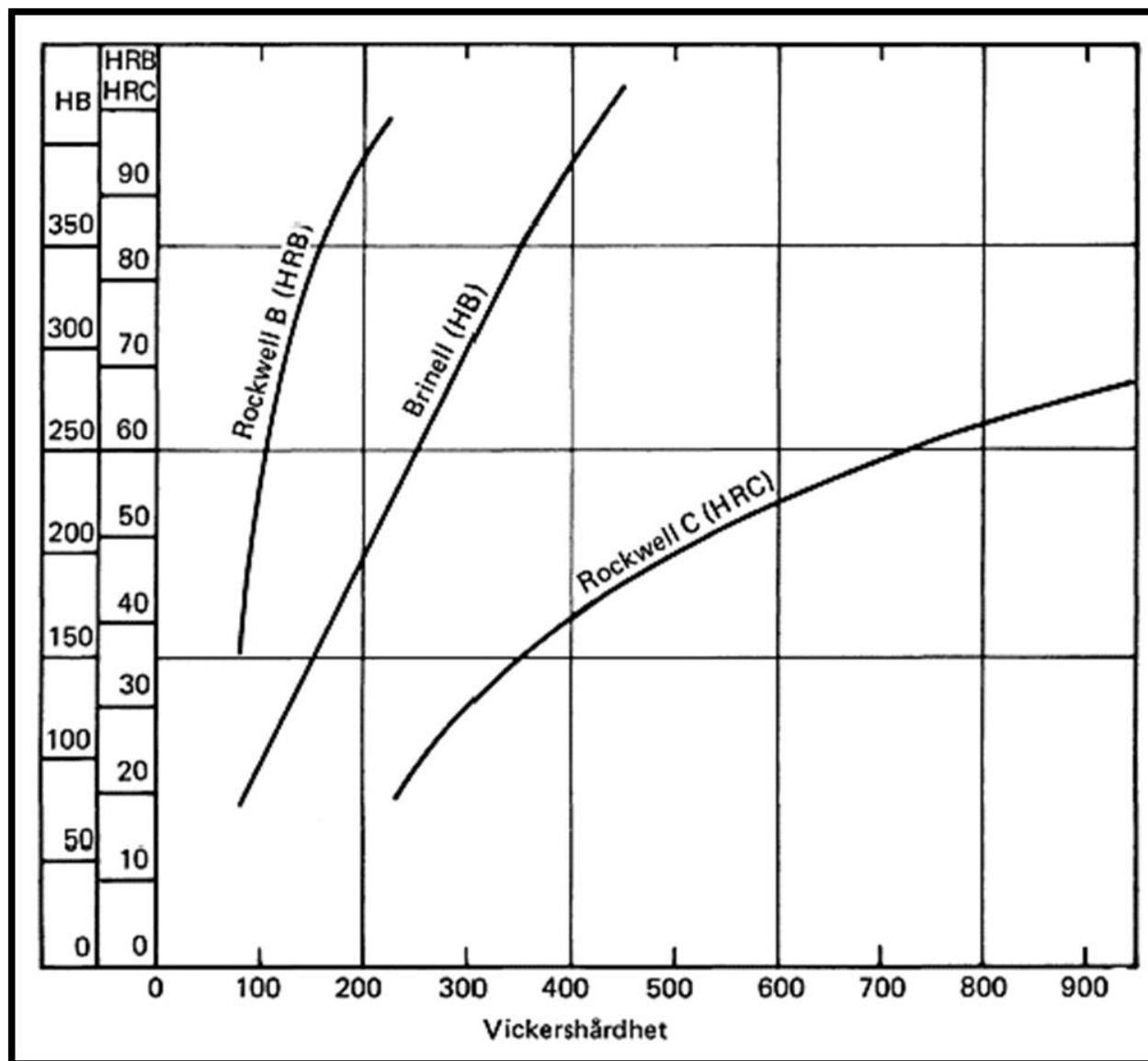
Rockwell B, HRB (Ball): Her benytter vi en herdet stålkule med diameter $1/16''$ som presses ned i prøven.

Rockwell C, HRC (Cone): Her benytter vi en diamantkonus med 120° spissvinkel som presses ned i prøven.

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/t^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone: $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres	 	 	60 kg 100 kg 150 kg	} Rockwell 15 kg 30 kg 45 kg

*Teknikker for hardhetsmåling.
Vekt P har benevning kg og
 d , d_1 og D har mm.
Teknikken for Knoop
(nup) benyttes på sprø
materialer som keramikk.*

HR øker med HB, men de er ikke proporsjonale.



*Kurver for omregning av hardhetsverdier.
Gjelder for ulegert og lavlegert stål.*

YouTube:

- Brinell Hardness Test
- Vickers Hardness Test
- Rockwell Hardness Test

▫ Skårslagprøving

Figuren viser:

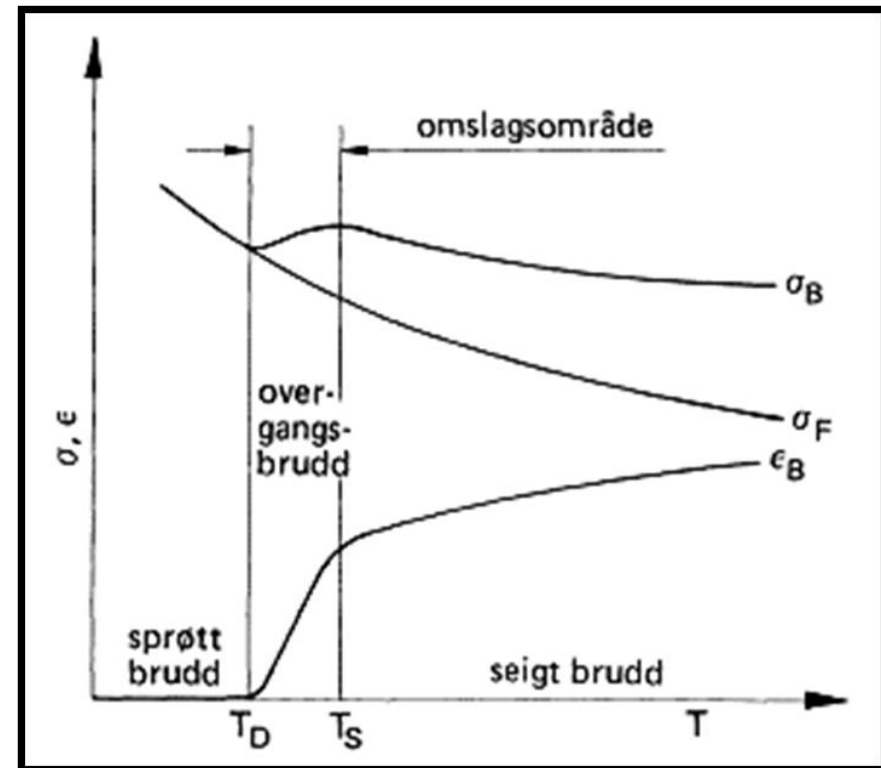
- sann flytespenning σ_F
 - sann bruddspenning σ_B
 - sann bruddforlengelse ϵ_B
- } som funksjon av prøvetemperaturen for ulegert stål

I figuren:

- under $T_D = 123\text{K}$ (-150°C) oppstår kløvningsbrudd
- over T_S oppstår skjærbrudd
- i mellom T_D og T_S blandet brudd

Metaller med:

- **kubisk romsentrert gitterstruktur**, som for eksempel stål, er utsatt for sprøbrudd ved lave temperaturer
- kubisk flatesentrert gitterstruktur, som aluminium og kobber er ikke utsatt for sprøbruddfare



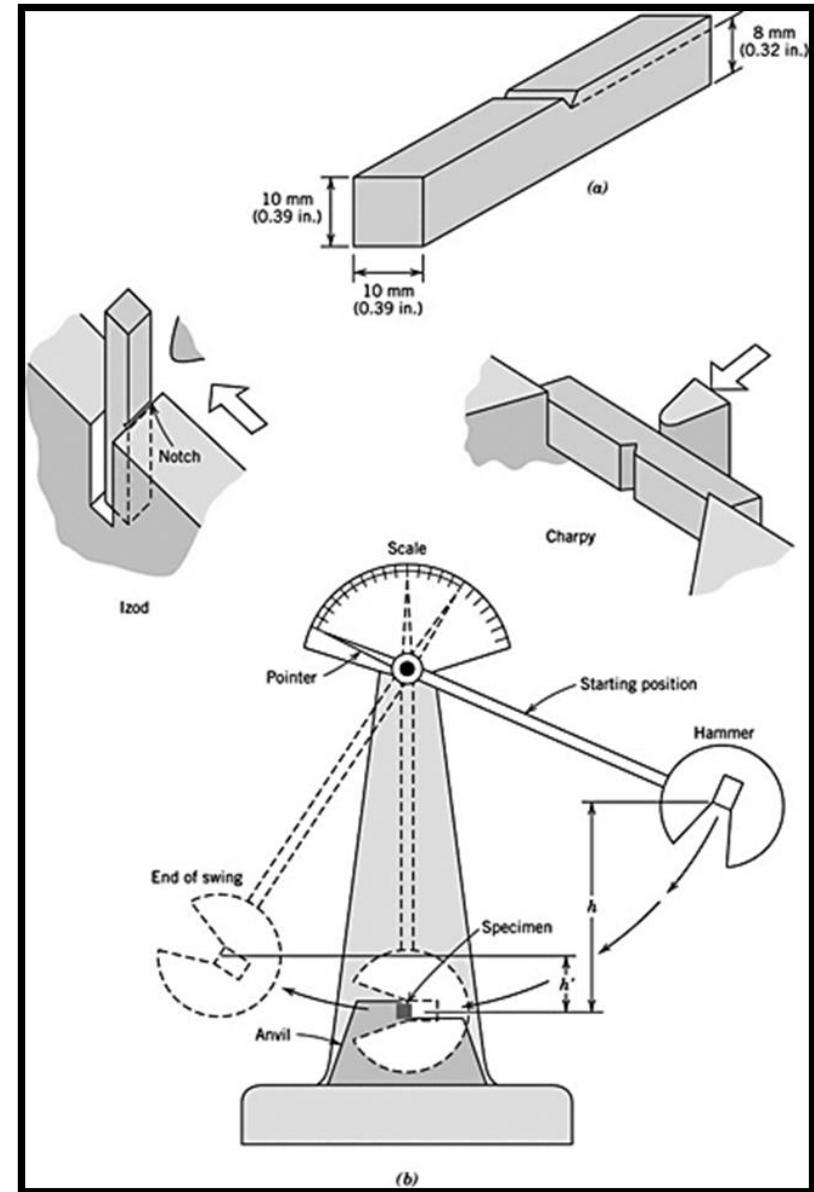
Sann Flytespenning σ_F , sann bruddspenning σ_B og sann bruddforlengelse ϵ_B som funksjon av prøvetemperaturen for ulegert stål.

$T = 293\text{K}$ (20°C) og $T_D = 123\text{K}$ (-150°C)

Testen:

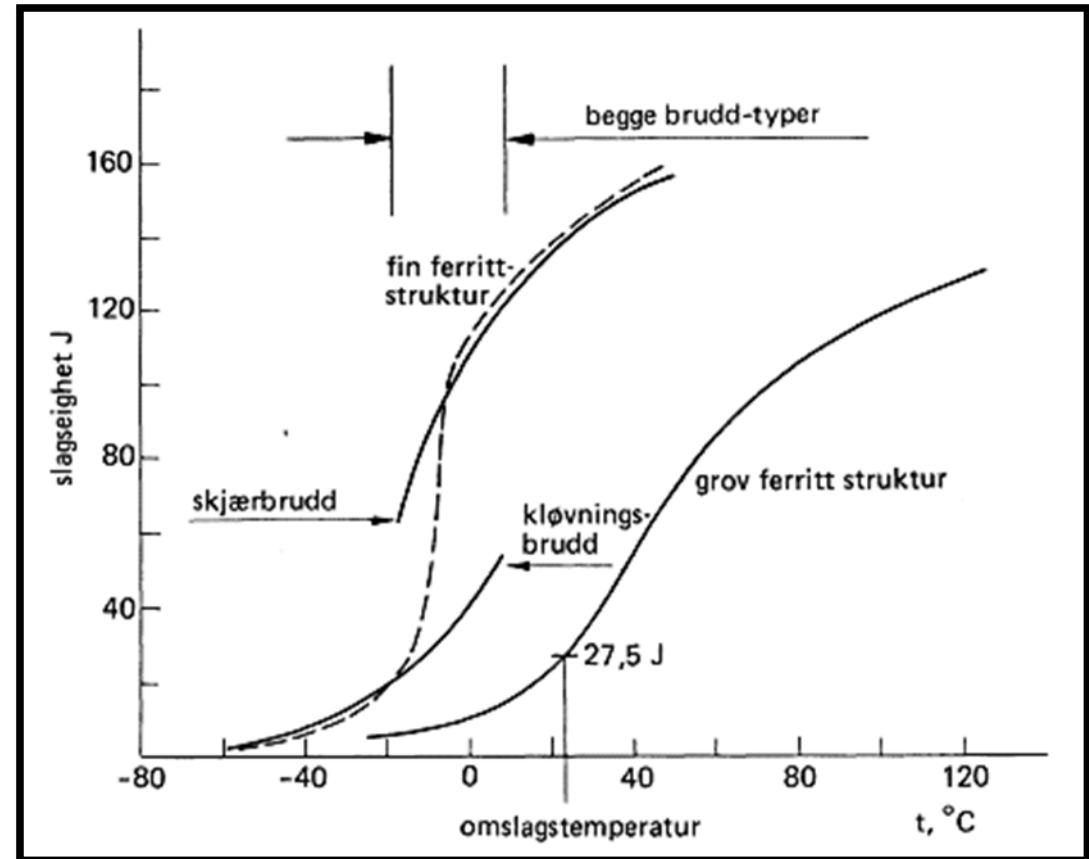
- Charpy V test er mest benyttet → prøvestav med V-skår
- andre metoder som benyttes er nøkkelhull og Izod

- (a) Prøvestaver benyttet for Charpy V test (mest benyttet).
 (b) Skjematisk vist apparat for testing av slagseighet.
 Plassering av Charpy V- og Izod-prøver er vist.
 Pendelhammeren utløses fra en bestemt høyde h og slår av prøvestaven.
 Slagenergien for brudd er forskjellen i stillingsenergi mellom h og høyden ved utsvingning h' .



Slagarbeidet, slagseigheten:

- måler vi som differansen i kinetisk energi før og etter slaget
- er materialets evne til å motstå sprøbrudd (kløvningsbrudd) ved bestemt temperatur og under medvirkning av kjerv, skår



Slagseigheten er avhengig av prøvetemperaturen ved overgang fra skjærbrudd til kløvningsbrudd.

Omslagstemperaturen er temperaturen ved slagseighet på 27,5J.

Kurvene gjelder for bløtt stål.

Det vises også hvordan fin ferrittstruktur senker omslagstemperaturen.

- [Charpy Impact Test](#) YouTube